

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

**GUSTAVO ANTONIO FRITZEN TREVISAN
VÁGNER ALVES DE MACEDO**

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO SOBRE A CAPACIDADE DE CARGA DE PILARES
DE MADEIRA DE SEÇÃO COMPOSTA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURITIBA
2019**

GUSTAVO ANTONIO FRITZEN TREVISAN

VÁGNER ALVES DE MACEDO

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO SOBRE A CAPACIDADE DE CARGA DE PILARES
DE MADEIRA DE SEÇÃO COMPOSTA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado ao Curso Superior de Engenharia Civil, do Departamento Acadêmico de Construção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Profa. Dra. Elisabeth Penner

CURITIBA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

GUSTAVO ANTONIO FRITZEN TREVISAN
VÁGNER ALVES DE MACEDO

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO SOBRE A CAPACIDADE DE CARGA DE PILARES DE MADEIRA DE SEÇÃO COMPOSTA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido no segundo semestre de 2019 e aprovado pela seguinte banca de avaliação presente:

Profa. Orientadora – Elisabeth Penner, Dra.

UTFPR

Amacin Rodrigues Moreira, MSc.

UTFPR

Felipe Perretto, Esp.

UTFPR

OBS.: O documento assinado encontra-se em posse da coordenação do curso.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter concedido a oportunidade da concretização de mais uma etapa em nossas formações.

À Prof^a. Doutora Elisabeth Penner por todo conhecimento e apoio necessário para a realização deste trabalho.

Aos nossos familiares Darci, Roseli, Rodrigo, Camila, Vágner Júnior, Zenaide, por sempre estarem ao nosso lado, apoiando desde o começo da graduação até a finalização.

À Viviane, pela ajuda com o design dos ábacos, suas ideias ajudaram muito no momento certo.

Ao nosso amigo e colega Mateus Pauli pela amizade, companheirismo e auxílio.

A todos os professores e colaboradores da UTFPR que contribuíram para o conhecimento necessário para a realização deste trabalho.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram de alguma forma para a finalização desta etapa.

Viver é enfrentar um problema atrás do outro. O modo como você o encara é o que faz a diferença (FRANKLIN, Benjamin).

RESUMO

TREVISAN, Gustavo Antonio Fritzen; MACEDO, Vágner Alves de. **Contribuição ao estudo sobre a capacidade de carga de pilares de madeira de seção composta**. 2019. 85f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Esse trabalho de conclusão de curso consiste na apresentação de uma planilha eletrônica capaz de verificar a estabilidade de pilares de madeira de seção composta, respeitando os limites de segurança e utilização referenciados pela ABNT NBR 7190/97. Devido à carência de informações para pré-dimensionamento proposto pelo documento normativo vigente, algumas suposições tiveram de ser adotadas. Após geração e verificação da confiabilidade da planilha eletrônica, esta se mostrou apropriada para a verificação de pilares de madeira de seção composta. Através de dados obtidos na planilha foram gerados quatro ábacos capazes de auxiliarem no pré-dimensionamento.

Palavras - chave: Dimensionamento estrutural; Estruturas de madeira; planilha eletrônica; Seção composta; Ábaco.

ABSTRACT

TREVISAN, Gustavo Antonio Fritzen; MACEDO, Vágner Alves de. **Contribution to de study of load capacity of composed wooden columns.** 2019. 85f. Term paper (Bachelor degree of Civil Engineering) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

This paper is a presentation of a spreadsheet capable of verifying the stability of composed wooden columns, respecting the security and utilization limits referenced by the Brazilian standart ABNT NBR 7190/97. Due to lack of information for pre-sizing proposed by the current normative document, some assumptions had to be adotped. After the generation and verification of the spreadsheet reliability, this one proved capable for verification of composed wooden column. Four abacus were generated through data obtained on the spreadsheet capable of assist on pre-sizing.

Keywords: Structural sizing; Wooden structures; Spreadsheet; Composed wooden columns; Abacus.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Comprimento teórico de referência	22
Figura 2 – Peças solidarizadas descontinuamente	26
Figura 3 – Diferentes tipos arranjos	26
Figura 4 – Seção composta por dois ou três elementos de mesma dimensão	27
Figura 5 – Núcleo Central de Inércia.....	29
Figura 6 – Fluxograma de procedimentos.....	34
Figura 7 – Fluxograma de cálculo da seção do elemento componente	36
Figura 8 – Fluxograma de cálculo da capacidade de carga da seção composta	36
Figura 9 – Planilha auxiliar para cálculo de capacidade de carga.....	38
Figura 10 – Dados de entrada da planilha.	39
Figura 11 – Preenchimento da base b1 da seção componente	40
Figura 12 – Limites de K_{mod}	40
Figura 13 – Número de elementos componentes.....	41
Figura 14 – Entrada de a_1	41
Figura 15 – Limites de L	42
Figura 16 – Entrada de α_y	42
Figura 17 – Exemplo de seção componente	43
Figura 18 – Capacidade de carga do pilar para diferentes alturas e classes de madeira	44
Figura 19 – Verificação da carga crítica de flambagem	45
Figura 20 – Verificação de estabilidade local	46
Figura 21 – Ábaco 01	48
Figura 22 – Ábaco 02	49
Figura 23 – Ábaco 03	50
Figura 24 – Ábaco de comparação de pilares de seção composta 01, 02 e 03	51
Figura 25– Arranjos de $\alpha_y = 1,25$ e $\alpha_y = 2,25$	52
Figura 26 – Ábaco 04	53
Figura 27 – Ábaco 05	54
Figura 28 – Ábaco 06	55
Figura 29– Ábaco de comparação de pilares de seção composta 04, 05 e 06	56
Figura 30 – Cor das classes no ábaco	58
Figura 31 – Exemplo de leitura no ábaco seção x k_{mod}	59

Figura 32 – Exemplo de leitura no ábaco C20 e C30.....	60
Figura 33 – Exemplo de interpolação kmod.....	62
Figura 34 – Ábaco 01 para impressão em A4.....	77
Figura 35 – Ábaco 02 para impressão em A4.....	78
Figura 36 – Ábaco 03 para impressão em A4.....	79
Figura 37 – Ábaco 04 para impressão em A4.....	80
Figura 38 – Ábaco 05 para impressão em A4.....	81
Figura 39 – Ábaco 06 para impressão em A4.....	82
Figura 40 – Ábaco de comparação para impressão em A3 – 01, 02 e 03.....	83
Figura 41 – Ábaco de comparação para impressão em A3 – 04, 05 e 06.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Entrada parametrizada de dados para gerar todos os ábacos.....	47
Tabela 2: Ganhos de resistência nos modelos 02 e 03.....	52
Tabela 3: Ganhos de resistência nos modelos 05 e 06.....	57
Tabela 4: Dados ábaco 01	67
Tabela 5: Dados ábaco 02	68
Tabela 6: Dados ábaco 03	70
Tabela 7: Dados ábaco 04	72
Tabela 8: Dados ábaco 05	73
Tabela 9: Dados ábaco 06	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Índice de esbeltez de peças de madeira	22
Quadro 2 – Seções transversais usuais.....	35
Quadro 3 – Características alteradas nos modelos dos ábacos 01, 02 e 03	51
Quadro 4 – Características alteradas nos modelos dos ábacos 04, 05 e 06	57
Quadro 5 – Exemplo de seções no ábaco	58

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
ELU	Estados Limites Únicos
ELS	Estados Limites de Serviço
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição	Unidade
Λ	Índice de esbeltez	-
L_0	Comprimento teórico de referência	m
i_{min}	Raio de giração mínimo de sua seção transversal	m
$\sigma_{Nc,d}$	Valor de cálculo da parcela de tensão normal atuante em virtude apenas da força normal de compressão	Pa
$f_{c0,d}$	Valor de cálculo da resistência à compressão paralela às fibras	Pa
A	Coeficiente de acordo com o espaçador	-
B	Coeficiente redutor adimensional	-
$f_{c0,k}$	Valor característico da resistência à compressão paralela às fibras	Pa
L_0	Comprimento de flambagem	m
k_{mod}	Coeficiente de modificação	-
K	Parâmetro de flambagem	-
N_d	Força Normal de Cálculo	N
B	Largura da seção transversal do pilar	m
H	Altura da seção transversal do pilar	m
N	Número de pilares	-
e_d	Excentricidade de cálculo	m
a_1	Distância entre os centros de gravidade da seção composta e da peça simples	m
L_1	Comprimento do intervalo entre os espaçadores	m

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Índice de esbeltez	21
Equação 2 – Momento de inércia efetivo	24
Equação 3 – Área seção reduzida	25
Equação 4 – Comprimento efetivo	25
Equação 5 – Área da seção componente	27
Equação 6 – Inércia 1 da seção componente	27
Equação 7 – Inércia 2 da seção componente	27
Equação 8 – Área da seção composta.....	28
Equação 9 – Inércia da seção composta na direção x.....	28
Equação 10 – Inércia da seção composta na direção y.....	28
Equação 11 – Inércia efetiva.....	28
Equação 12 – Coeficiente de correção da inércia.....	28
Equação 13 – Distância entre espaçadores.....	28
Equação 14 – Verificação de estabilidade	28
Equação 15 – Módulo de resistência	29
Equação 16 – Capacidade de carga de pilares de seção composta.....	29
Equação 17 – Carga crítica de flambagem.....	30
Equação 18 – Coeficiente de modificação k_{mod}	47
Equação 19 – Fórmula de Interpolação para diferentes K_{mod} 's.....	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL.....	16
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.3	JUSTIFICATIVA.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	MADEIRA COMO MATERIAL ESTRUTURAL	18
2.2	SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS	18
2.3	ESTABILIDADE DE PILARES.....	21
2.3.1	Pilares de madeira de seção maciça	21
2.3.1.1	Peças curtas.....	22
2.3.1.2	Peças mediamente esbeltas.....	23
2.3.1.3	Peças esbeltas	23
2.3.2	Pilares de madeira de seção composta	23
2.3.2.1	Peças compostas por seção I ou caixão, ligadas por pregos	24
2.3.2.2	Peças compostas por lâminas de madeira colada	24
2.3.2.3	Peças compostas por seção retangular ligada por conectores metálicos	25
2.3.2.4	Estabilidade de peças compostas	25
2.3.2.5	Capacidade de carga de pilares compostos.....	29
2.3.2.6	Carga crítica de flambagem.....	30
2.4	CRITÉRIOS DA NBR 7190/97 x CRITÉRIOS DO EUROCODE 5	30
2.4.1	Peças compostas	30
2.4.2	Ligação	31
2.5	SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS.....	31
2.5.1	Tratamento e processamento de dados de entrada	32
2.5.2	Software utilizado na elaboração e compatibilização dos ábacos	32
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	34
3.1	COLETA DE DADOS.....	34
3.2	ESTABELEECER LIMITAÇÕES PARA A ANÁLISE.....	34
3.2.1	Seções transversais usuais	35
3.2.2	Excentricidade	35
3.3	PLANILHAS ELETRÔNICAS PARA DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA	36
3.4	OBTENÇÃO DOS GRÁFICOS PARA AUXÍLIO NO DIMENSIONAMENTO	37

4	RESULTADOS obtidos e discussão.....	38
4.1	PLANILHAS DE CÁLCULOS.....	38
4.1.1	Dados de entrada.....	39
4.1.2	Gráfico de capacidade de carga.....	43
4.1.3	Verificações	44
4.2	ÁBACOS.....	46
4.2.1	Desenvolvimento dos ábacos	46
4.2.1.1	Elaboração dos ábacos 01, 02, 03 e comparativo	47
4.2.1.2	Comparação das resistências percebidas nos ábacos 01, 02 e 03.....	51
4.2.1.3	Elaboração dos ábacos 04, 05, 06 e comparativo	52
4.2.1.4	Comparação das resistências percebidas nos ábacos 04, 05 e 06.....	56
4.2.1.5	Discussão dos resultados das alterações das seções 02, 03 , 05 e 06.....	57
4.2.2	Interpretação e leitura do ábaco.....	58
4.2.2.1	Interpretação das informações do ábaco.....	58
4.2.2.2	Leitura dos pontos de interesse no ábaco	59
4.2.2.3	Método de Interpolação dos k_{mod} 's intermediários.....	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
6	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	64
	REFERÊNCIAS.....	65
	APÊNDICE A – TABELAS DE DADOS DOS ÁBACOS 01, 02, 03.	67
	APÊNDICE B – TABELAS DE DADOS DOS ÁBACOS 04, 05, 06.	72
	APÊNDICE C – ÁBACOS para impressão 01, 02, 03.	77
	APÊNDICE D – ÁBACOS para impressão 04, 05, 06.	80
	APÊNDICE E – ÁBACOS para impressão: COMPARAÇÕES.....	83

1 INTRODUÇÃO

A madeira é o único recurso natural renovável com propriedades estruturais e um dos materiais mais resistentes por unidade de peso, sendo fácil de trabalhar, resultando em grande diversidade de formas e de seções. Por ser relativamente leve, implica em baixo custo de transporte e montagem e por ser biodegradável os resíduos podem ser totalmente aproveitados (MELO, 2013).

Os tratamentos associados às técnicas de colagem conduziram a um material estrutural duradouro, estável e com bom comportamento mecânico. Também a evolução das técnicas de ligação entre diferentes peças de madeira veio facilitar o desenvolvimento de estruturas complexas e a sua aplicação a soluções de grandes dimensões. Na atualidade, as soluções estruturais em madeira nas edificações podem considerar-se competitivas com as alternativas disponíveis, oferecem baixo impacto ao meio ambiente e proporcionam soluções que, em termos arquitetônicos, podem considerar-se superiores (ALMEIDA, 2012).

É importante ressaltar também que a heterogeneidade e anisotropia da madeira fazem com que suas propriedades físicas e mecânicas sejam diferentes em todas as direções (PFEIL, W.; PFEIL, M., 2003). Por esses fatores, segundo Vieira e Gesualdo (2016), durante a concepção de estruturas de madeira, seu dimensionamento deve ser realizado cuidadosamente, levando em consideração a orientação das fibras na peça.

A concepção estrutural de um pilar de madeira de seção composta demanda vários cálculos relativos às características da madeira, as formas geométricas da base do pilar, o tipo de travamento que será empregado nas peças componentes e estabilidade proveniente da altura do pilar. Mesmo orientados pela ABNT NBR 7190:97 para realizar as etapas de cálculo, o procedimento é moroso e complexo. Sendo assim, foi proposta a utilização de ábacos como forma intuitiva e técnica para extrair resistências de alguns arranjos de pilares de seção composta. A construção de ábacos deve permitir a visualização da amplitude resistida de seções de pilares diferentes, possibilitando a comparação entre eles, sem etapas de cálculos.

No setor de estruturas de madeira, a utilização de peças compostas possui grande importância, principalmente por possibilitar maiores seções transversais a partir de peças com dimensões menores disponíveis no mercado (GÓES, 2002).

1.1 OBJETIVO GERAL

Contribuir no estudo sobre a capacidade de carga de pilares de madeira de seção composta por meio da obtenção de ábacos que tornem o dimensionamento mais prático.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir situações de carregamentos que limitem o estudo, porém, de tal maneira que sejam abrangentes às situações de obras recorrentes;
- Construir planilhas de cálculo com diferentes situações geométricas e de resistência dos pilares;
- Construir gráficos representativos de diferentes situações geométricas em relação às suas capacidades de carga;
- Construir ábacos que auxiliem no pré-dimensionamento.

1.3 JUSTIFICATIVA

No Brasil, a madeira é utilizada para múltiplas finalidades. Tal emprego vem se mantendo crescente, apesar de alguns conhecidos preconceitos inerentes, relacionados principalmente à: divulgação insuficiente das informações tecnológicas já disponíveis acerca do seu comportamento sob as diferentes condições de serviço; falta quase sistemática de projetos e softwares específicos, desenvolvidos por profissionais habilitados. (CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003).

Ao conceber uma proposta de estrutura, é necessário, em primeiro lugar, conhecer as propriedades físicas e mecânicas do material usado, que são relevantes ao projeto, pois interferem em todos os problemas em questão (ANDRADE et al., 2014). Sendo assim, fica latente a necessidade em mitigar a falta de praticidade na elaboração de projetos de dimensionamentos de pilares de madeira. Contribuindo para essa dificuldade está a gama reduzida de softwares específicos para cálculos estruturais de pilares de madeira.

Nesse contexto, a elaboração do presente trabalho tem a intenção de contribuir no estudo sobre a capacidade de carga de pilares de madeira de seção composta por meio da obtenção de ábacos que tornem o dimensionamento mais prático e eficaz.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para começar o estudo acerca da capacidade de carga de pilares de madeira de seção composta se faz necessária uma breve abordagem sobre a madeira como material estrutural, segurança nas estruturas, estabilidade de pilares, as diferenças entre os critérios de dimensionamento da ABNT NBR 7190:97 e o EUROCODE.

2.1 MADEIRA COMO MATERIAL ESTRUTURAL

A madeira é, provavelmente, o material de construção mais antigo dado a sua disponibilidade na natureza e sua relativa facilidade de manuseio (PFEIL, W.; PFEIL, M., 2003).

A consolidação do conhecimento sobre o comportamento da madeira como material estrutural permitiu que a partir da Idade Média fossem realizadas estruturas que mesmo após séculos de construção mantêm até hoje sua qualidade e desempenho, comprovando as qualidades intrínsecas da carpintaria tradicional (FIGUEIREDO; CARRASCO, 2015).

Sendo a madeira um material utilizado há muitos séculos, uma grande variedade de sistemas estruturais em madeira pode ser observada, os quais vêm evoluindo em função dos diversos produtos industrializados. (PFEIL, W.; PFEIL, M., 2003).

Dentre os principais sistemas estruturais destacam-se as treliças de cobertura, pórticos, pontes, pilares (que estão presentes tanto nos pórticos quanto nas pontes). Além disso, a madeira é muito utilizada em estruturas auxiliares e/ou provisórias como, por exemplo, em formas para concreto, escoramento de vigas e lajes e também na confecção das instalações provisórias dentro do canteiro de obra.

2.2 SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS

O conceito de segurança de uma estrutura é a capacidade que ela apresenta de suportar as diversas ações que vierem a solicitá-la durante a sua vida útil, continuando a satisfazer as condições funcionais a que se destinava por ocasião de sua construção (ZAGOTTIS, 1981).

O comportamento das estruturas depende de inúmeros fatores, dentre os quais, grande parte não podem ser totalmente controlados.

“Até o século XIX a concepção e a execução de obras de Engenharia Civil eram realizadas de forma empírica, isto é, a segurança dependia da experiência e da intuição dos construtores. Com o aparecimento da construção metálica e o desenvolvimento da teoria da resistência dos materiais apareceram as primeiras regras de avaliação da segurança com base científica: o método das tensões admissíveis. Este critério de segurança manteve-se válido para as diferentes estruturas durante cerca de um século. Neste período, os progressos relativos ao conhecimento mais aperfeiçoado da mecânica estrutural e das cargas aplicadas, em simultâneo com o melhoramento das técnicas de produção dos materiais, resultaram numa diminuição e diversificação do coeficiente de segurança” (HENRIQUES, 1998).

Porém, a necessidade de reduzir as variáveis e riscos associados ao dimensionamento de estruturas conduziu a necessidade de desenvolver um método de segurança sob a perspectiva probabilística. Desta foram, surgiram os conceitos dos estados limites, que rapidamente se difundiram nas normas de dimensionamento de diversos países.

Os estados limites, segundo a ABNT NBR 8681:2003, são definidos como situações a partir das quais a estrutura apresenta desempenho inadequado às finalidades da construção. Além disso, podem ser classificados como:

- Estados limites últimos (ELU): Estados que, pela sua simples ocorrência, determinam a paralisação, no todo ou em parte, do uso da construção.
- Estados limites de serviço (ELS): Estados que, por sua ocorrência, repetição ou duração, causam efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal da construção, ou que são indícios de comprometimento da durabilidade da estrutura.

A segurança de uma estrutura de madeira com a ocorrência de prováveis estados limites será garantida pelo seguimento das condições construtivas que são detalhadas pela ABNT NBR 7190:1997 e sua obediência às condições analíticas de segurança como, por exemplo, que a solicitação de cálculo seja sempre menor ou igual a resistência de cálculo ABNT NBR 7190:1997. Cabe salientar que na NBR 7190 os projetos, usualmente devem considerar os estados limites de utilização, que são compatíveis com o (ELS), caracterizados por: deformações excessivas, que afetem a utilização normal da construção, comprometam seu aspecto estético, prejudiquem

o funcionamento de equipamentos ou instalações ou causem danos aos materiais de acabamento ou às partes não estruturais da construção, e também, vibrações de amplitude excessiva que causem desconforto aos usuários ou causem danos à construção ou ao seu conteúdo.

Quando há ocorrência dos estados limites últimos, é determinada a sua interdição, em parte ou em todo, da utilização da construção. Perda de equilíbrio parcial ou global, ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais, instabilidade por deformação, ressonância (instabilidade dinâmica) e transformação da estrutura são algumas das principais características desse estado.

A verificação da estabilidade das estruturas e o seu dimensionamento são feitos com base na verificação dos estados limites, estes que por sua vez, são calculados através da combinação e ponderação das possíveis ações á que a estrutura em questão estará submetida.

Segundo a ABNT NBR 8681:2003, as ações são causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas. Do ponto de vista prático, as forças e as deformações impostas pelas ações são consideradas como se fossem as próprias ações. As deformações impostas são por vezes designadas por ações indiretas e as forças, por ações diretas.

As ações podem ser divididas em três categorias quanto à variação do seu tempo de aplicação: permanentes, variáveis e excepcionais. As ações permanentes são aquelas que possuem valores constantes, ou que variam muito pouco, e que atuam ao longo de toda a vida útil da estrutura. As ações variáveis possuem valores com variação significativa e também estão atuantes em praticamente toda a vida útil da estrutura. Já as ações excepcionais, de acordo com o próprio nome, são aquelas que possuem baixa probabilidade de ocorrência ao longo da vida útil da estrutura. Além disso, independem da variação dos seus valores, pois atuam por curtos intervalos de tempo.

Em estruturas de madeira, as ações que normalmente ocorrem e que devem ser avaliadas são as cargas permanentes, as cargas acidentais verticais, o vento, os impactos verticais e laterais, a força centrífuga, as forças longitudinais e qualquer outra força que possa agir em um determinado caso em especial (CALIL; LAHR; DIAS, 2003).

2.3 ESTABILIDADE DE PILARES

O sistema estrutural de um edifício deve ser projetado de forma a resistir a todas as ações que possa estar submetido ao longo de sua existência. A resistência às ações verticais (estabilidade vertical) é obtida pelos apoios verticais (pilares), que transmitem tais ações ao solo através das fundações (BACARJI, 1993).

As informações apresentadas abaixo, nos subitens 2.3.1, 2.3.2 são baseadas na ABNT NBR 7190:1997.

2.3.1 Pilares de madeira de seção maciça

Segundo a norma, as peças que na situação de projeto são admitidas como solicitadas apenas à compressão simples, em princípio devem ser dimensionadas admitindo-se uma excentricidade accidental do esforço de compressão, em virtude das imperfeições geométricas das peças e das excentricidades inevitáveis dos carregamentos, levando-se ainda em conta os acréscimos destas excentricidades em decorrência dos efeitos de segunda ordem e, nas peças esbeltas, da fluência da madeira.

As exigências impostas ao dimensionamento dependem da esbeltez da peça, definida pelo seu índice de esbeltez constante na Equação 1.

$$\lambda = \frac{L_0}{I_{min}} \quad (1)$$

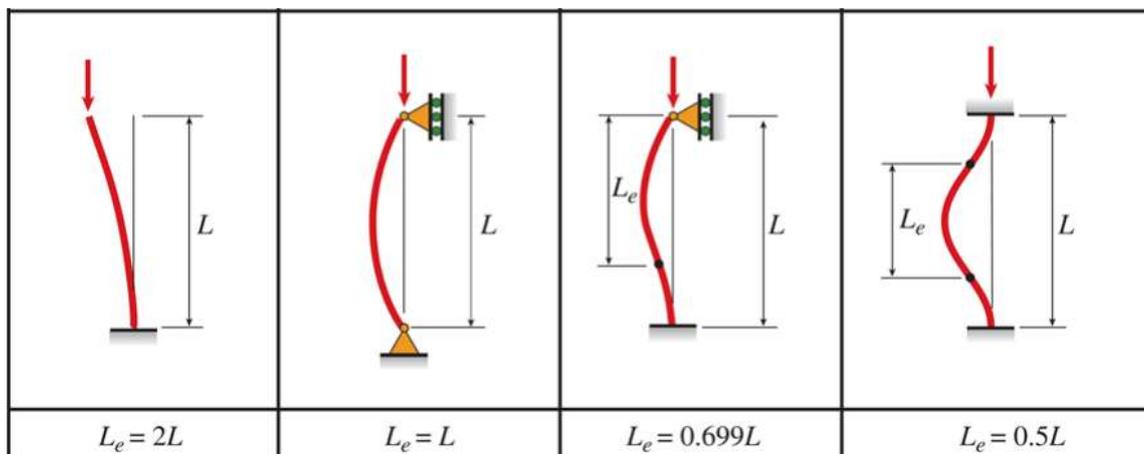
Sendo

L_0 : comprimento teórico de referência;

I_{min} : é o raio de giração mínimo de sua seção transversal.

O comprimento teórico de referência, também conhecido como comprimento crítico, é obtido pela multiplicação do comprimento real, por um coeficiente “k” de majoração ou minoração, dependendo dos tipos de apoios, conforme Figura 1.

Figura 1 – Comprimento teórico de referência



Fonte: Cury (2015)

Em sistemas estruturais de madeira, o efeito favorável do engastamento nas extremidades das peças é desprezado devido à deformabilidade das ligações. Isto torna o comprimento de flambagem igual ao próprio comprimento do pilar (PFEIL, W.; PFEIL, M., 2003).

Existem três diferentes classificações para as peças de acordo com o seu índice de esbeltez, no qual cada caso terá suas particularidades no cálculo de estabilidade da seção, conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Índice de esbeltez de peças de madeira

Índice de esbeltez	Tipo do Pilar
$\lambda \leq 40$	Curto
$40 < \lambda \leq 80$	Médio
$\lambda > 80$	Esbelto

Fonte: Autoria própria (2019)

2.3.1.1 Peças curtas

Para as peças curtas, definidas pelo índice de esbeltez $\lambda \leq 40$, que na situação de projeto são admitidas como solicitadas apenas à compressão simples, dispensa-se a consideração de eventuais efeitos de flexão. Para as peças curtas, que na

situação de projeto são admitidas como solicitadas à flexocompressão, as condições de segurança serão verificadas com os momentos fletores determinados na situação de projeto.

2.3.1.2 Peças medianamente esbeltas

Para as peças medianamente esbeltas, definidas pelo índice de esbeltez $40 < \lambda \leq 80$, submetidas na situação de projeto à flexocompressão com os esforços de cálculo N_d e M_{1d} , além das condições de segurança especificadas para flexocompressão citada no item subcapítulo, também deve ser verificada a segurança em relação ao estado limite último de instabilidade, por meio de teoria de validade comprovada experimentalmente.

2.3.1.3 Peças esbeltas

As peças esbeltas, definidas pelo índice de esbeltez $\lambda > 80$, não se permitindo valor maior que 140, submetidas na situação de projeto à flexocompressão com os esforços de cálculo N_d e M_{1d} , a verificação será feita como para peças medianamente esbeltas citada no item 2.3.1.2 equação (4), porém serão considerados valores para três diferentes excentricidades: e_i é a excentricidade de primeira ordem decorrente da situação de projeto, e_a é a excentricidade acidental mínima e e_c a excentricidade suplementar de primeira ordem que representa a fluência da madeira.

2.3.2 Pilares de madeira de seção composta

As peças compostas por elementos justapostos solidarizados continuamente podem ser consideradas como se fossem peças maciças, com as restrições adiante estabelecidas. Entretanto, nos parâmetros de cálculo a norma não estabelece uma relação entre peças compostas e maciças.

2.3.2.1 Peças compostas por seção I ou caixão, ligadas por pregos

As peças compostas por peças serradas formando seção I ou caixão, solidarizadas permanentemente por ligações rígidas por pregos, solicitadas a flexão simples ou composta, podem ser dimensionadas como peças maciças, com seção transversal de área igual à soma das áreas das seções dos elementos componentes, e momento de inércia efetivo dado por:

$$I_{ef} = \alpha_r I_{th} \quad (2)$$

Na equação (2) I_{th} representa o momento de inércia da seção total da peça como se ela fosse maciça, sendo:

- Para seções I ou caixão: $\alpha_r = 0,85$.

Na falta de verificação específica da segurança em relação à estabilidade da alma, recomenda-se o emprego de enrijecedores perpendiculares ao eixo da viga, com espaçamento máximo de duas vezes a altura total da viga.

2.3.2.2 Peças compostas por lâminas de madeira colada

As peças de madeira laminada colada devem ser formadas por lâminas com espessuras não superiores a 30 mm de madeira de primeira categoria conforme as exigências, coladas com adesivo à prova d'água, à base de fenol-formaldeído sob pressão, em processo industrial adequado que solidarize permanentemente o sistema.

As lâminas podem ser dispostas com seus planos médios paralelamente ou perpendicularmente ao plano de atuação das cargas. Em lâminas adjacentes, de espessura t , suas emendas devem estar afastadas entre si de uma distância pelo menos igual a $25 t$ ou à altura h da viga.

Todas as emendas contidas em um comprimento igual à altura da viga são consideradas como pertencentes à mesma seção resistente.

As lâminas emendadas possuem a seção resistente reduzida conforme Equação 3.

$$A_{red} = \alpha_r A_{ef} \quad (3)$$

os valores de α_r variam da seguinte maneira:

- Emendas dentadas (*finger joints*): $\alpha_r = 0,9$;
- Emendas em cunha com inclinação de 1:10: $\alpha_r = 0,85$;
- Emendas de topo: $\alpha_r = 0$.

2.3.2.3 Peças compostas por seção retangular ligada por conectores metálicos

As vigas compostas de seção retangular, ligadas por conectores metálicos, solicitadas à flexão simples ou composta, suposta uma execução cuidadosa e a existência de parafusos suplementares que solidarizem permanentemente o sistema, podem ser dimensionadas à flexão, em estado limite último, como se fossem peças maciças, reduzindo-se o momento de inércia da seção composta, adotando-se:

$$I_{ef} = \alpha_r I_{th} \quad (4)$$

Sendo:

- para dois elementos superpostos: $\alpha_r = 0,85$;
- para três elementos superpostos: $\alpha_r = 0,70$.

Onde I_{ef} é o valor efetivo e I_{th} o seu valor teórico.

Os conectores metálicos devem ser dimensionados para resistirem ao cisalhamento que existiria nos planos de contato das diferentes peças como se a peça fosse maciça.

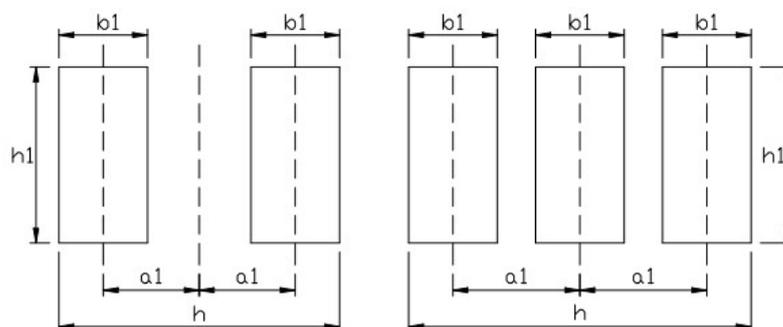
2.3.2.4 Estabilidade de peças compostas

As peças compostas solidarizadas descontinuamente por espaçadores interpostos ou por chapas laterais de fixação devem ter sua segurança verificada em relação ao estado limite último de instabilidade global. Permite-se a verificação da estabilidade, como se fossem de seção maciça, nas condições adiante estabelecidas.

Conforme as exigências da ABNT NBR 7190:1997, os espaçadores devem ser igualmente afastados entre si ao longo do comprimento L da peça. A sua fixação aos elementos componentes deve ser feita por ligações rígidas com pregos ou parafusos.

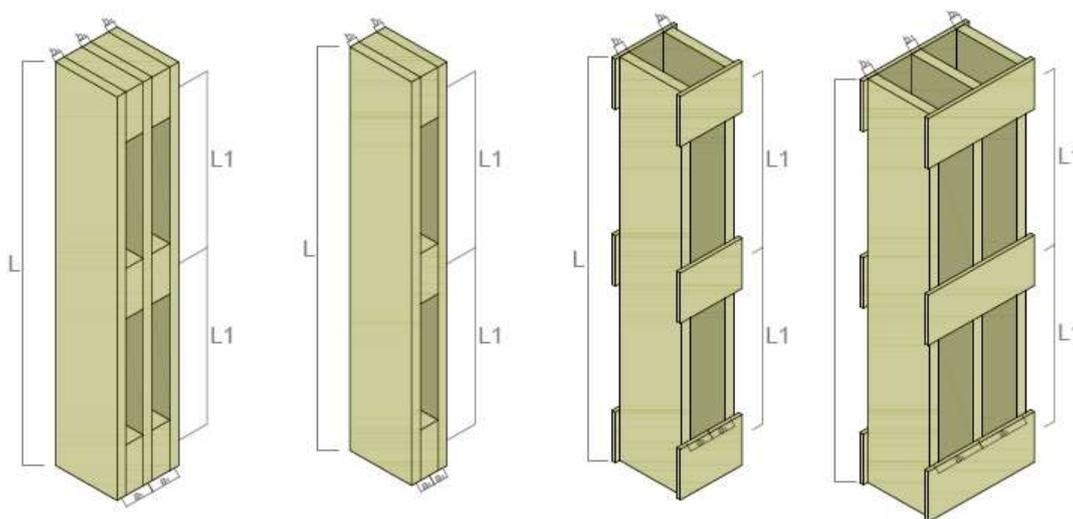
Na Figura 2 são mostrados os formatos das seções e suas dimensões, e também as posições dos espaçadores, respectivamente.

Figura 2 – Peças solidarizadas descontinuamente



Fonte: ABNT (1997) apud SZÜCS et al. (2016)

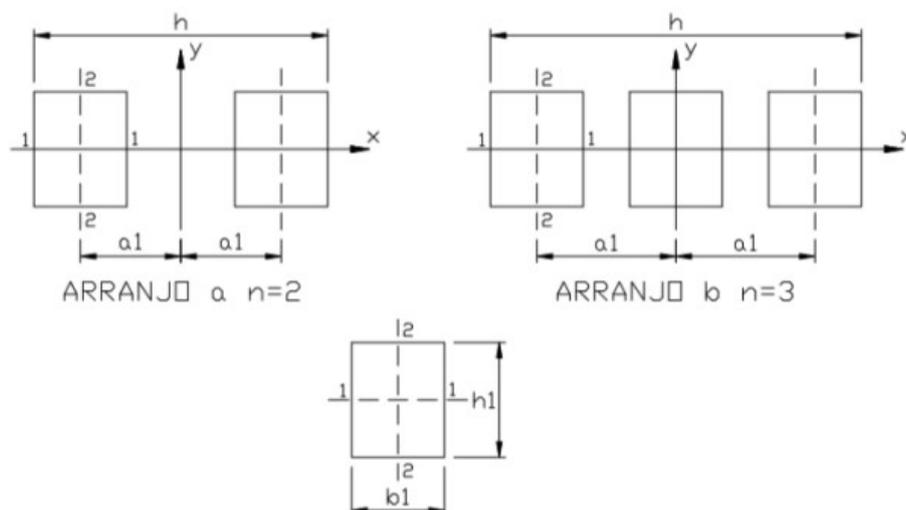
Figura 3 – Diferentes tipos arranjos



Fonte: Autoria própria (2019).

As seções podem possuir dois diferentes tipos de arranjo, conforme Figura 4.

Figura 4 – Seção composta por dois ou três elementos de mesma dimensão



Fonte: ABNT (1997) apud SZÜCS et al. (2016)

Permite-se que estas ligações sejam feitas com apenas 2 parafusos ajustados dispostos ao longo da direção do eixo longitudinal da peça, afastados entre si de no mínimo $4d$ e das bordas do espaçador de pelo menos $7d$, desde que o diâmetro de pré-furação d_o seja feito igual ao diâmetro d do parafuso.

Para a verificação da segurança do pilar, utilizaremos de equações que relacionam uma seção simples do pilar, com a seção total (peça composta), conforme indicado nas equações:

- Seção do elemento componente:

$$A_1 = b_1 h_1 \quad (5)$$

$$I_1 = b_1 h_1^3/12 \quad (6)$$

$$I_2 = h_1 b_1^3/12 \quad (7)$$

- Seção composta:

$$A = n A_1 \quad (8)$$

$$I_x = n I_1 \quad (9)$$

$$I_y = n I_2 + 2 A_1 a_1^2 \quad (10)$$

$$I_{y,ef} = \beta_1 I_y \quad (11)$$

$$\beta_1 = \frac{I_2 m^2}{I_2 m^2 + \alpha_y I_y} \quad (12)$$

Sendo:

m = número de intervalos de comprimento L_1 em que fica dividido o comprimento L total da peça;

$\alpha_y = 1,25$ para espaçadores interpostos;

$\alpha_y = 2,25$ para chapas laterais de fixação.

$$L_1 = L/m \quad (13)$$

A verificação deve ser feita como se a peça fosse maciça de seção transversal com área A e momentos de inércia I_x e $I_{y,ef}$. E a inércia I_2 sempre será menor que a I_1 , pois a base não pode ser maior que a altura (se acontecer, a equação inverte as posições).

Nessa verificação, as condições de segurança especificadas com relação à estabilidade são representadas por:

$$\frac{N_d}{A} + \frac{M_d I_2}{I_{y,ef} W_2} + \frac{M_d}{2 a_1 A_1} \left(1 - n \frac{I_2}{I_{y,ef}} \right) \leq f_{cod}, \quad (14)$$

Sendo:

$$W_2 = \frac{I_2}{b_1/2}. \quad (15)$$

2.3.2.5 Capacidade de carga de pilares compostos

O cálculo da capacidade de carga de pilares de seção composta é dado pela equação:

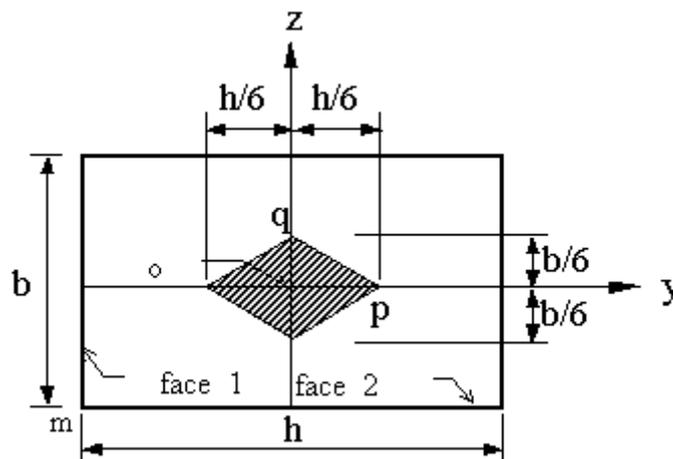
$$Nd \left[\frac{1}{A} + \frac{e_d I_z}{I_{yef} w_z} + \frac{e_d}{2a_1 A_1} \left(1 - n \frac{I_z}{I_{yef}} \right) \right] \leq f_{co,d} \quad (16)$$

A obtenção de cada valor citado na equação (16) é descrita no item 2.3.2.4.

2.3.2.5.1 Núcleo central de Inércia

O núcleo central de inércia é o lugar geométrico da seção transversal da barra (ou pilar), tal que, se nele for aplicada uma carga de compressão P, toda a seção está comprimida.

Figura 5 – Núcleo Central de Inércia



Fonte: Gómez (2002).

2.3.2.6 Carga crítica de flambagem

A capacidade de carga dos pilares é limitada também pela carga crítica de flambagem conforme equação:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (17)$$

No qual $I = I_{y,ef}$ (equação 11).

2.4 CRITÉRIOS DA NBR 7190/97 X CRITÉRIOS DO EUROCODE 5

2.4.1 Peças compostas

Na Norma Brasileira, ABNT NBR 7190:1997 apresentam-se procedimentos bem definidos no que se refere ao dimensionamento de pilares de seção maciça, logo, a utilização de pilares de seção composta de madeira ainda pode trazer algumas inseguranças aos projetistas quanto ao comportamento destes pilares quando submetidos à flexocompressão.

As peças compostas podem ser dimensionadas como peças maciças, com seção transversal de área igual à soma das áreas das seções dos elementos componentes, e momento de inércia efetivo conforme mostrado no subitem 2.3.2.1 é dado pela Equação 2.

Sendo I_{th} é o momento de inércia da seção total da peça como se ela fosse maciça, para seções T: $\alpha_r = 0,95$ e para seções I ou caixão: $\alpha_r = 0,85$.

Na ABNT NBR 7190:1997 a estabilidade das peças compostas está categorizada em duas formas construtivas: peças solidarizadas continuamente e descontinuamente.

Em peças compostas por elementos justapostos solidarizados continuamente a estabilidade pode ser verificada como se elas fossem maciças com a exigência de utilizar coeficiente α_r .

Para peças compostas solidarizadas descontinuamente por espaçadores interpostos devem ter sua segurança verificada em relação ao estado limite último de estabilidade global. Os espaçadores devem estar igualmente afastados entre si ao longo do comprimento L da peça. A sua fixação aos elementos componentes deve ser feita por ligações rígidas com pregos ou parafusos, conforme as exigências descritas na subseção ligação.

2.4.2 Ligação

Segundo os critérios da ABNT NBR 7190:1997, observa-se que para as mesmas classes de resistência, ou seja, mesmo valores de f_{c0k} , existem diferenças nos valores de f_{vk} , $E_{c,0m}$, $\rho_{bas,m}$ e $\rho_{aparente}$ entre coníferas e dicotiledôneas. Seguindo os critérios de cálculos da norma e utilizando o mesmo valor de resistências das madeiras para ambas as espécies, o valor da resistência da ligação será o mesmo. No entanto observa-se que devido às propriedades celulares e intrínsecas, as dicotiledôneas desempenham melhor a função de componente estrutural do que as coníferas.

Observa-se que o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 ao contrário da ABNT NBR 7190:1997 classifica as espécies segundo sua resistência à flexão, $f_{m,t}$ e não à resistência à compressão paralela às fibras, $f_{c,0k}$. Uma conífera com resistência $f_{m,t}$, comparado com uma dicotiledônea da mesma resistência, apresenta os mesmos valores de $f_{c,0k}$, $f_{t,0k}$ e $f_{v,k}$, e valores inferiores de ρ_k , ρ_{mean} e $E_{90,mean}$, sendo assim, muito parecido ao que acontece na norma brasileira. Contudo, as demais resistências $f_{t,90k}$ e $f_{c,90k}$, são maiores nas dicotiledôneas e os parâmetros $E_{0,mean}$ e G_{mean} , maiores na maioria das classes das coníferas (DORIGON, 2008).

2.5 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Nas atividades de engenharia, de um modo geral, os engenheiros são colocados diante de problemas técnicos, uns simples e outros mais complexos, tendo que resolvê-los de uma forma prudente e satisfatória. No que diz respeito ao projeto

estrutural, o engenheiro deve garantir que a estrutura não venha a ter problemas que comprometam a segurança dos seus usuários (NETO; LOPES, R.; NETO, A., 2007).

Os métodos analíticos clássicos permitem o cálculo da resposta exata das incógnitas da estrutura em todos os seus pontos, porém, a maior parte das estruturas práticas são muito complexas para serem analisadas de forma clássica. Faz-se necessário então, o uso de ferramentas computacionais que tornem o processo de projetar mais rápido, eficiente e seguro. Além disso, permitem o processamento de uma gama maior de informações simultaneamente (NETO; LOPES, R.; NETO, A., 2007).

2.5.1 Tratamento e processamento de dados de entrada

Se tratando de tecnologia para obtenção de soluções práticas e efetivas são destacados os programas de computadores, os quais podem fazer parte do quadro de tecnologias necessárias que colaboram para tabular e padronizar os diferentes resultados almejados em projetos de pilares de seção composta. Um dos recursos mais usados, por exemplo, é o *software Microsoft Excel* da empresa Microsoft®, o qual é estruturado por planilhas de cálculos matemáticos. Este programa proporciona funções de criação de planilhas eletrônicas interligadas com ferramentas de cálculos e de construção de gráficos.

Por se tratar de uma ferramenta altamente difundida em praticamente todos os campos da Engenharia, optou-se por adotar o *Microsoft Excel* como ferramenta para confecção de planilhas interativas e dos ábacos de dimensionamento.

2.5.2 Software utilizado na elaboração e compatibilização dos ábacos

Atualmente no setor da construção civil existem muitos softwares que são utilizados com o intuito de aperfeiçoar o processo gráfico e proporcionar facilidade na correção de erros, controles de informações e aprimoramentos nos dados.

Para a elaboração deste estudo foi utilizado o softwares Autodesk – AutoCad é um dos softwares mais utilizados por escritórios e estudantes de Engenharia e

Arquitetura. É desenvolvido com o conceito CAD (Computer Aided Design), tornando uma ferramenta eficaz e disponibilizada pela fabricante gratuitamente para estudantes durante a graduação.

Foi utilizada a versão 2018 do AutoCAD, para construção dos ábacos, para que sejam abertos em versões anteriores do software os arquivos executáveis, dwg precisam ser convertidos para versões de anos anteriores, podendo assim ser visualizados e editados.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O procedimento metodológico utilizado para realização do trabalho é mostrado de forma resumida no fluxograma:

Figura 6 – Fluxograma de procedimentos



Fonte: Autoria própria (2019)

3.1 COLETA DE DADOS

Recolher informações da literatura existente que já possam sugerir uma sistematização para o dimensionamento de pilares de madeira de seção composta.

3.2 ESTABELECEER LIMITAÇÕES PARA A ANÁLISE

Para possibilitar futuras verificações faz-se necessário estabelecer algumas restrições de situações de carregamento que sejam representativas de obras recorrentes, com base nos critérios da NBR 7190.

Como citado no subitem 1.2 o presente trabalho tem como intuito a elaboração de uma planilha e ábacos que possam atender o dimensionamento de diferentes situações geométricas de seções transversais e de pé-direito, bem como de resistências para diferentes espécies de madeira. Porém, para possível comparação resultados, utilizaremos algumas seções usuais como exemplo.

3.2.1 Seções transversais usuais

As seções adotadas como base do estudo para apresentação dos dados são mostradas no quadro 2:

Quadro 2 – Seções transversais usuais

SEÇÕES TRANSVERSAIS	
b ₁ (cm)	h ₁ (cm)
5	15
5	20
5	25
5	30
5	35
7,5	15
7,5	20
7,5	25
7,5	30
7,5	35

Fonte: Autoria própria (2019)

3.2.2 Excentricidade

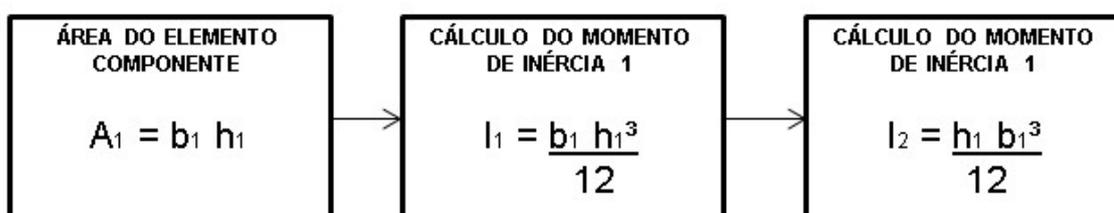
Como citado anteriormente, a ABNT NBR 7190/97 recomenda que o momento causado pela força aplicada com uma excentricidade na seção do pilar seja medido em obra. Porém, para um pré-dimensionamento não temos a possibilidade de mensurar in-loco quanto será essa excentricidade. Para o presente estudo consideramos que a carga é excêntrica e está aplicada no limite do núcleo central de inércia (maior valor entre $h/6$ ou $h_1/6$), que é mostrado no subitem 2.3.5.2.1.

3.3 PLANILHAS ELETRÔNICAS PARA DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA

Para determinação da capacidade de carga dos pilares, serão utilizadas planilhas com uma rotina de cálculo conforme apresentado pela ABNT NBR 7190:1997.

O primeiro fluxograma apresentado abaixo é referente ao cálculo de uma seção simples que irá compor a seção composta, conforme figura 5.

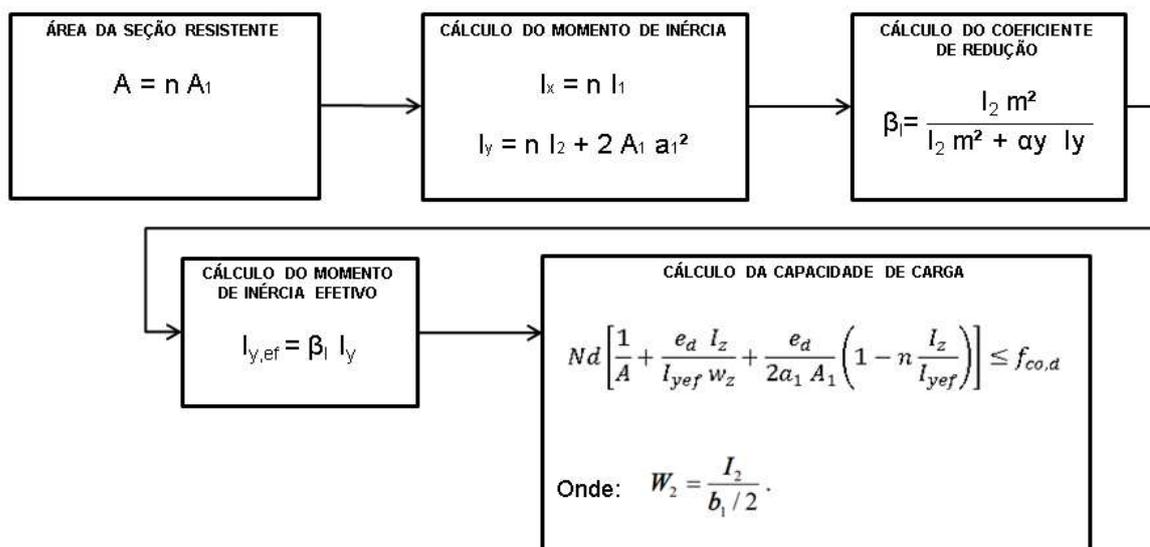
Figura 7 – Fluxograma de cálculo da seção do elemento componente



Fonte: Autoria própria (2019)

O fluxograma da Figura 8 – Fluxograma de cálculo da capacidade de carga da seção composta⁶ mostra a rotina de cálculo para obtenção da resistência do pilar de seção composta.

Figura 8 – Fluxograma de cálculo da capacidade de carga da seção composta



Fonte: Autoria própria (2019)

3.4 OBTENÇÃO DOS GRÁFICOS PARA AUXÍLIO NO DIMENSIONAMENTO

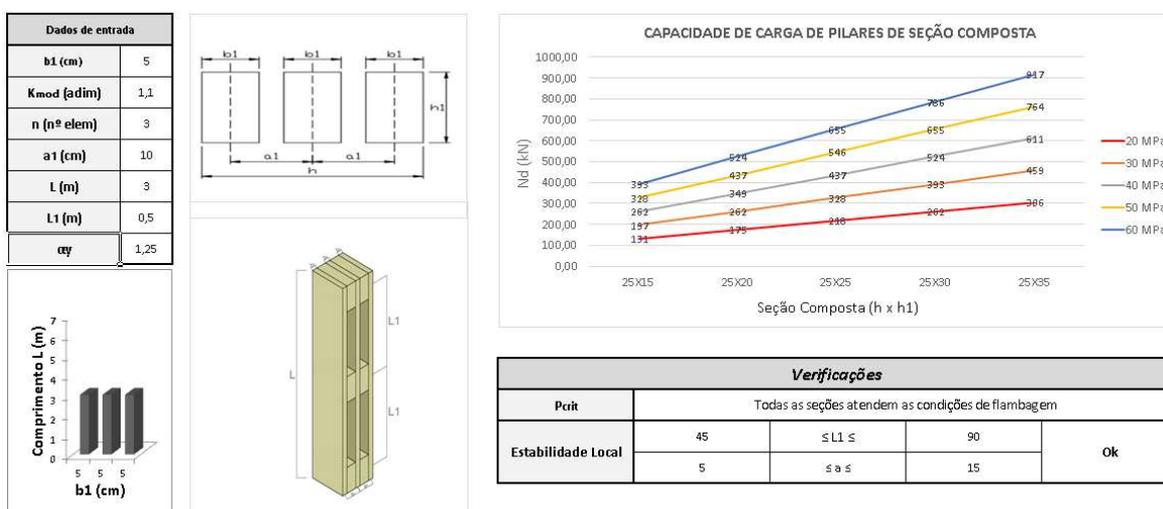
Construir gráficos na forma de ábacos que tornem eficiente a visualização da capacidade de carga a fim de permitir que o dimensionamento seja prático.

4 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

4.1 PLANILHAS DE CÁLCULOS

Para possibilitar a geração dos ábacos, primeiramente foi desenvolvida uma planilha de cálculos, conforme figura:

Figura 9 – Planilha auxiliar para cálculo de capacidade de carga



Fonte: Autoria própria (2019)

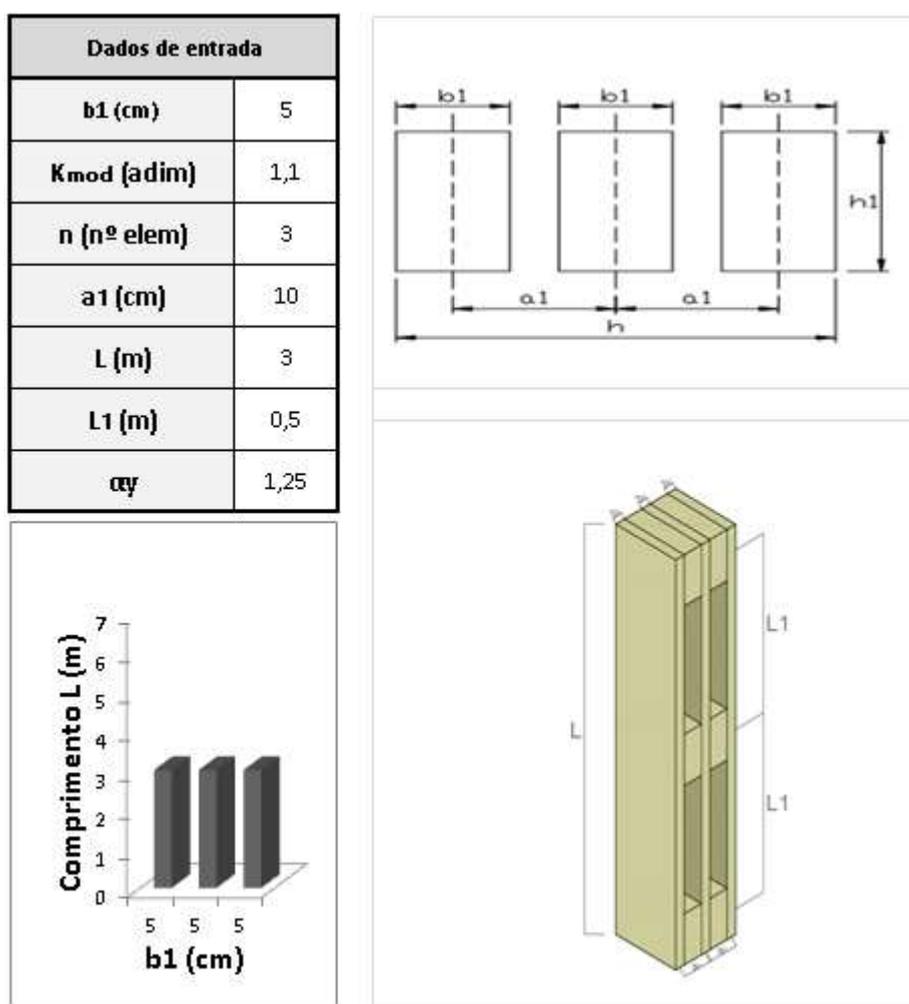
A planilha é composta por três áreas:

- Dados de entrada;
- Gráfico de capacidade de carga para 25 diferentes combinações;
- Tabela de verificação de flambagem e estabilidade.

4.1.1 Dados de entrada

Na área de dados de entrada, o usuário da planilha deve fornecer informações da seção, pé direito, espaçamento entre espaçadores e o coeficiente k_{mod} , conforme figura 10:

Figura 10 – Dados de entrada da planilha.



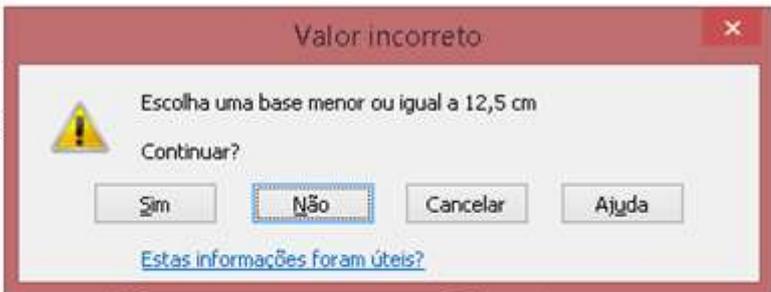
Fonte: Autoria própria (2019).

Os dados de entrada possuem limitações conforme norma NBR 7190/97 e também algumas restrições de seção que serão apresentados nas figuras abaixo.

Na figura 11 é mostrada a limitação para a entrada da base da seção componente (b_1) em cm:

Figura 11 – Preenchimento da base b_1 da seção componente

Dados de entrada	
b_1 (cm)	15
K_{mod} (adim)	0,8
n (nº elem)	2
a_1 (cm)	5
L (m)	3
L_1 (m)	1
α_y	2,25

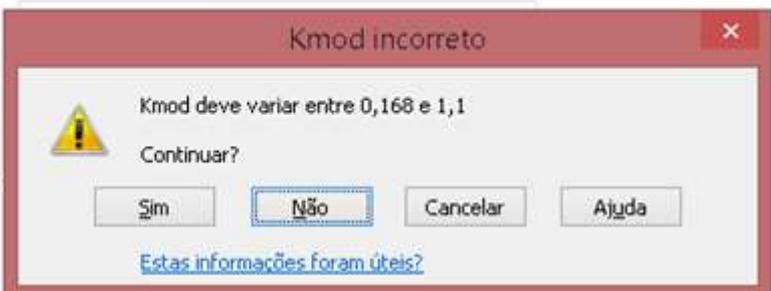


Fonte: Autoria própria (2019).

Na próxima figura são mostrados os limites para entrada do K_{mod} conforme valor máximo e mínimo possível através da multiplicação dos coeficientes $K_{mod,1}$, $K_{mod,2}$ e $K_{mod,3}$:

Figura 12 – Limites de K_{mod}

Dados de entrada	
b_1 (cm)	5
K_{mod} (adim)	0,1
n (nº elem)	2
a_1 (cm)	5
L (m)	3
L_1 (m)	1
α_y	2,25



Fonte: Autoria própria (2019).

A figura 13 corresponde as possíveis entradas para a quantidade de seções componentes (n):

Figura 13 – Número de elementos componentes

Dados de entrada	
b1 (cm)	5
K _{mod} (adim)	0,8
n (nº elem)	2
a1 (cm)	2 3
L (m)	3
L1 (m)	1
$\alpha\gamma$	2,25

Fonte: Autoria própria (2019).

A distância entre centro da seção componente e centro da seção composta (a_1) é limitada com base no tipo de espaçadores e também pelo b_1 , no tópico 4.1.3 serão mostrados os limites de a_1 calculados através de b_1 . Caso a_1 esteja fora dos limites disponíveis uma mensagem de alerta será mostrada:

Figura 14 – Entrada de a_1

Dados de entrada	
b1 (cm)	5
K _{mod} (adim)	1,1
n (nº elem)	3
a1 (cm)	16
L (m)	3
L1 (m)	0,5
$\alpha\gamma$	1,25

Fonte: Autoria própria (2019).

A altura máxima do pilar foi limitada em 7m conforme figura 15, porém posteriormente a capacidade de carga é limitada pela carga crítica de flambagem.

Figura 15 – Limites de L

Dados de entrada	
b1 (cm)	10
K _{mod} (adim)	0,8
n (nº elem)	2
a1 (cm)	10
L (m)	8
L1 (m)	1
α_y	2,25

Fonte: Autoria própria (2019).

L1 não possui limitação na entrada, porém no tópico 4.1.3 é mostrado os limites permitidos pela norma.

Os valores de α_y podem ser 1,25 (espaçadores interpostos) ou 2,25 (espaçadores de chapas laterais):

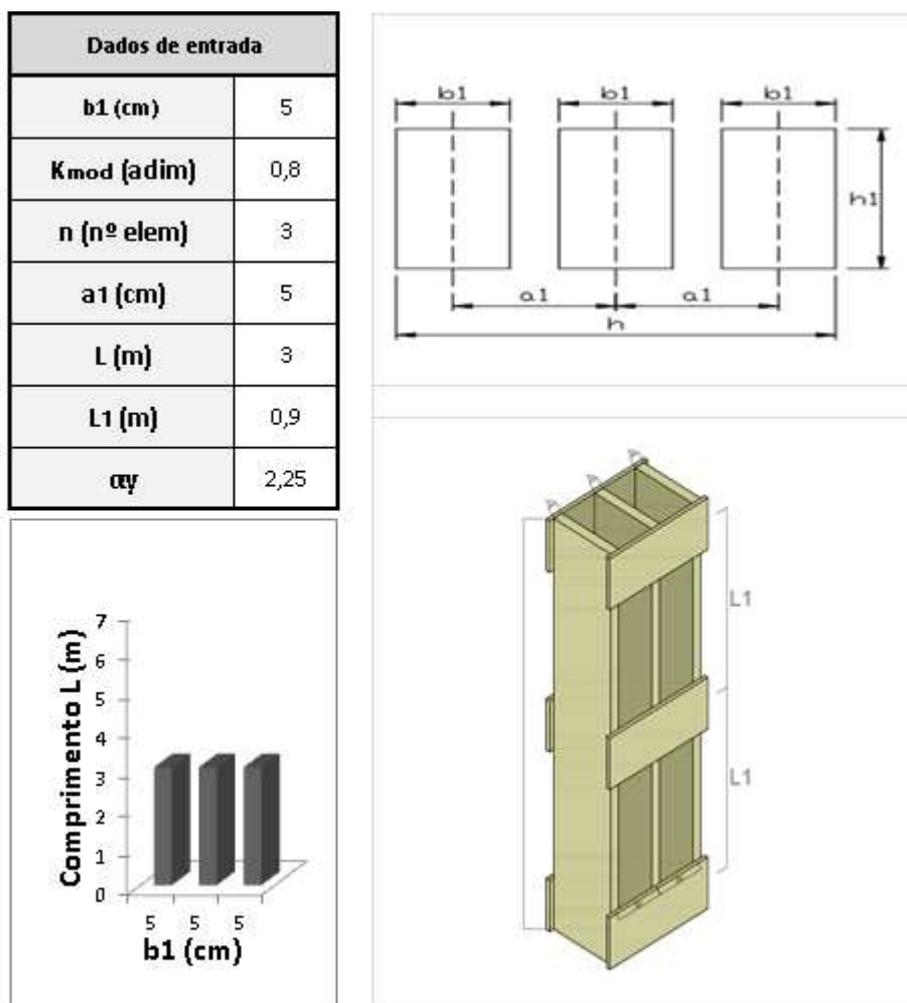
Figura 16 – Entrada de α_y

Dados de entrada	
b1 (cm)	10
K _{mod} (adim)	0,8
n (nº elem)	2
a1 (cm)	10
L (m)	3
L1 (m)	1
α_y	2,25

Fonte: Autoria própria (2019).

As figuras da planilha são ajustadas automaticamente conforme dados de entrada, por exemplo, para uma seção composta por três componentes e com espaçador de chapas laterais:

Figura 17 – Exemplo de seção componente



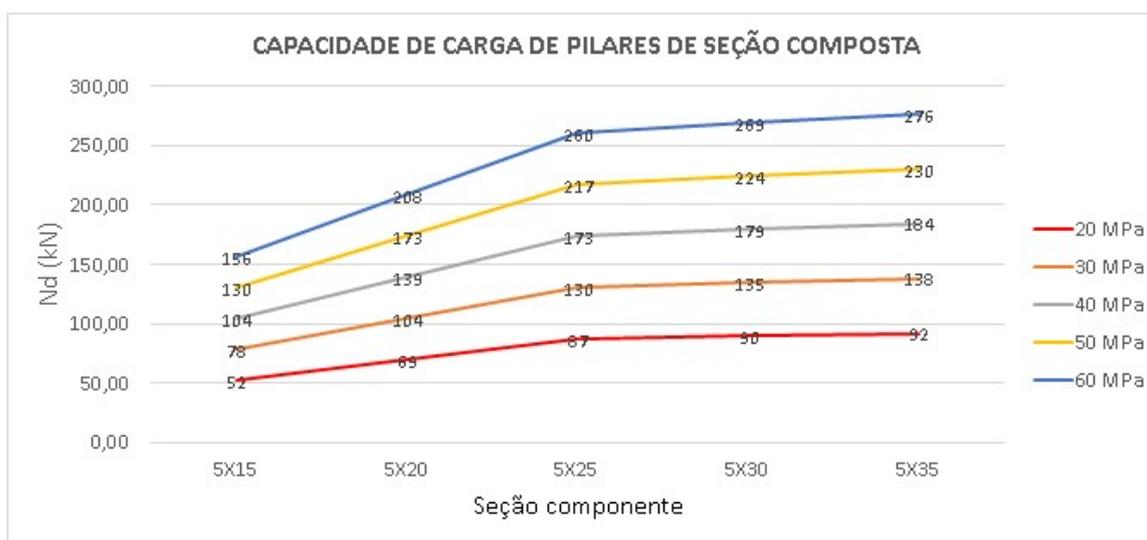
Fonte: Autoria própria (2019).

4.1.2 Gráfico de capacidade de carga

Após entrada de dados é gerado um gráfico que mostra a resistência de 25 combinações diferentes, sendo elas alturas variando com os valores: 15, 20, 25, 30 e 35 cm, e resistência da madeira variando com os valores: 20, 30, 40, 50 e 60 MPa.

Na próxima ilustração são mostradas as variações das cargas de um pilar com dados de entrada equivalentes aos da figura 17.

Figura 18 – Capacidade de carga do pilar para diferentes alturas e classes de madeira



Fonte: Autoria própria (2019).

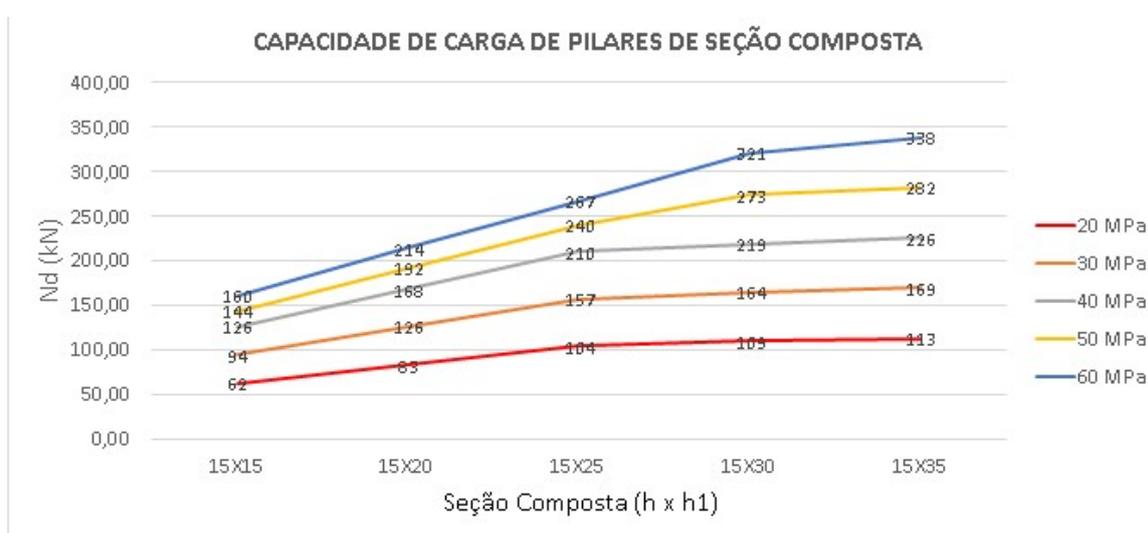
O gráfico apresenta um amplo alcance de capacidades de carga, no qual o usuário da planilha pode escolher o que melhor se ajusta ao seu projeto.

4.1.3 Verificações

O terceiro setor da planilha faz verificações para flambagem conforme equação 17 e estabilidade local conforme NBR 7190/97.

Se uma seção tem capacidade de carga maior que a carga crítica de flambagem, a capacidade de carga da seção já foi limitada pela carga crítica e substituída no gráfico, nesse caso a informação irá aparecer na linha "Pcrit" da tabela de verificação:

Figura 19 – Verificação da carga crítica de flambagem



Verificações				
Pcrit	*10 Seções foram limitadas pelo critério de flambagem			
Estabilidade Local	45	$\leq L1 \leq$	90	Ok
	5	$\leq a \leq$	30	

Fonte: Autoria própria (2019).

De acordo com a NBR 7190/97, se a seção componente do pilar com espaçadores interpostos apresentar o espaçamento $a \leq 3b1$ e uma distância entre espaçadores $9a \leq L1 \leq 18b1$ essa seção não precisa ser verificada para estabilidade local. Já para os pilares interligados por espaçadores de chapas laterais a verificação é $a \leq 6b1$ e $9a \leq L1 \leq 18b1$.

Esta informação é verificada na segunda e terceira linha da tabela de verificações:

Figura 20 – Verificação de estabilidade local

Verificações				
P_{crit}	Todas as seções atendem as condições de flambagem			
Estabilidade Local	45	$\leq L1 \leq$	90	Verificar estabilidade
	2,5	$\leq a \leq$	15	

Fonte: Autoria própria (2019).

4.2 ÁBACOS

A definição do modelo do ábaco, elaborado neste trabalho, passou pela avaliação de alguns protótipos, inicialmente a tentativa de extração foi no próprio *software Microsoft Excel*, uma solução que atendesse a visualização e entendimento de forma organizada e intuitiva, porém não foi possível chegar ao resultado esperado. Numa segunda tentativa, de posse das planilhas de dados que relacionam seção, k_{mod} e resistência (kN), foi desenhado em folhas A4 os nível máximos de resistência que cada par de dados (seção x k_{mod}) forneciam. Assim foi possível aninhar os dados, transformando-os em informações qualitativas para o processo de determinação de pilares de seção composta. Para apresentar os ábacos em um *layout* mais amigável foi utilizado o softwares Autodesk – AutoCad que proporcionou, após a definição da parte lógica do aninhamento dos dados, uma entrega visual apropriada e eficaz na observação de informações com recursos gráficos.

4.2.1 Desenvolvimento dos ábacos

Estipulando uma configuração de pilar de seção composta na planilha conforme figura 7 foi possível a tabulação dos dados, alternando o k_{mod} de 0,168 até 1,1 com intervalos de 0,1 em 0,1 tabulamos todos os dados necessários, conforme apêndice A, para a plotagem no softwares Autodesk – AutoCad. Os parâmetros de k_{mod} utilizados no desenvolvimento abrangem os limites de cálculo preconizados na NBR 7190/97:

$$k_{mod} = k_{mod,1} \cdot k_{mod,2} \cdot k_{mod,3} \quad (18)$$

Em que o coeficiente parcial de modificação $k_{mod,1}$ leva em conta a classe de carregamento e o tipo de material empregado, o coeficiente parcial de modificação $k_{mod,2}$ leva em conta a classe de umidade e o tipo de material empregado e o coeficiente parcial de modificação $k_{mod,3}$ leva em conta se a madeira é de primeira ou segunda categoria. No caso particular de madeira serrada submersa, admite-se o valor $k_{mod,2} = 0,65$. Para determinar o $k_{mod,1}$ e $k_{mod,2}$ a NBR 7190/97 fornece as tabelas 10 e 11 respectivamente.

Para delimitar o k_{mod} neste trabalho utilizamos no k_{mod} inferior as situações mais desfavoráveis $k_{mod,1} = 0,3$; $k_{mod,2} = 0,65$; $k_{mod,3} = 0,80$ resultando um $k_{mod} = 0,168$, para a situação ótima o k_{mod} superior foi definido da seguinte forma $k_{mod,1} = 1,1$; $k_{mod,2} = 1,0$; $k_{mod,3} = 1,0$ resultando um $k_{mod} = 1,10$.

Tabela 1: Entrada parametrizada de dados para gerar todos os ábacos

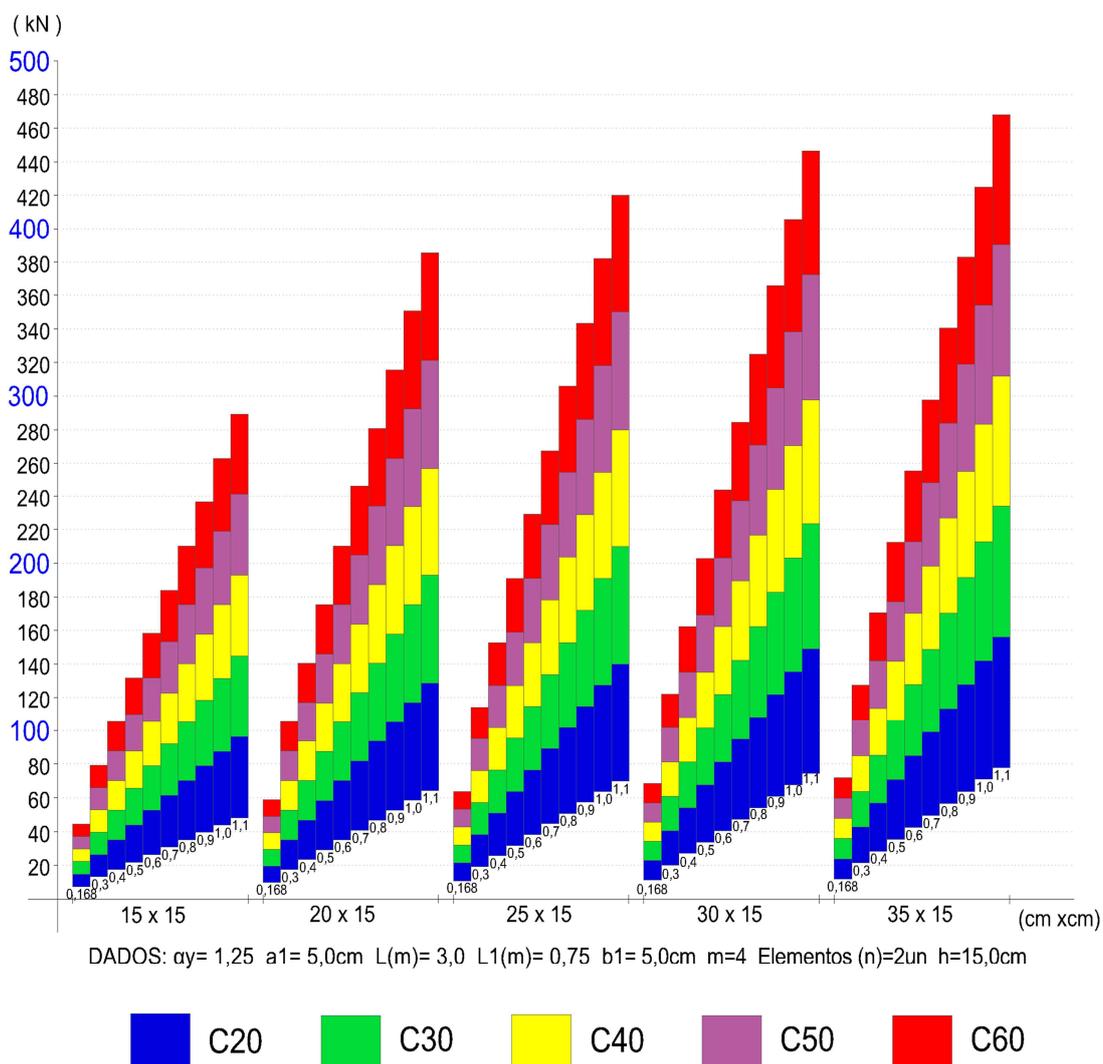
Parâmetros	Ábaco 01	Ábaco 02	Ábaco 03	Ábaco 04	Ábaco 05	Ábaco 06
b1 (cm)	5,00	5,00	5,00	7,50	7,50	7,50
a1 (cm)	5,00	10,00	10,00	7,50	7,50	7,50
h (cm)	15,00	25,00	25,00	22,50	22,50	22,50
α_y	1,25	1,25	1,25	2,25	1,25	1,25
n (un)	2	2	2	2	2	2
L (m)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
L1 (m)	0,75	0,75	0,50	1,00	1,00	0,75
m (un)	4	4	6	3	3	4

Fonte: Autoria própria (2019).

4.2.1.1 Elaboração dos ábacos 01, 02, 03 e comparativo

Com a parametrização dos dados: $\alpha_y = 1,25$ $a_1 = 5,0$ cm $L(m) = 3,0$ $L_1(m) = 0,75$ $b_1 = 5,0$ cm $m = 4$ Elementos (n) = 2un $h = 15,0$ cm obtivemos o ábaco 01 conforme figura 19. O ábaco 01 em tamanho para impressão A4 está no apêndice C.

Figura 21 – Ábaco 01

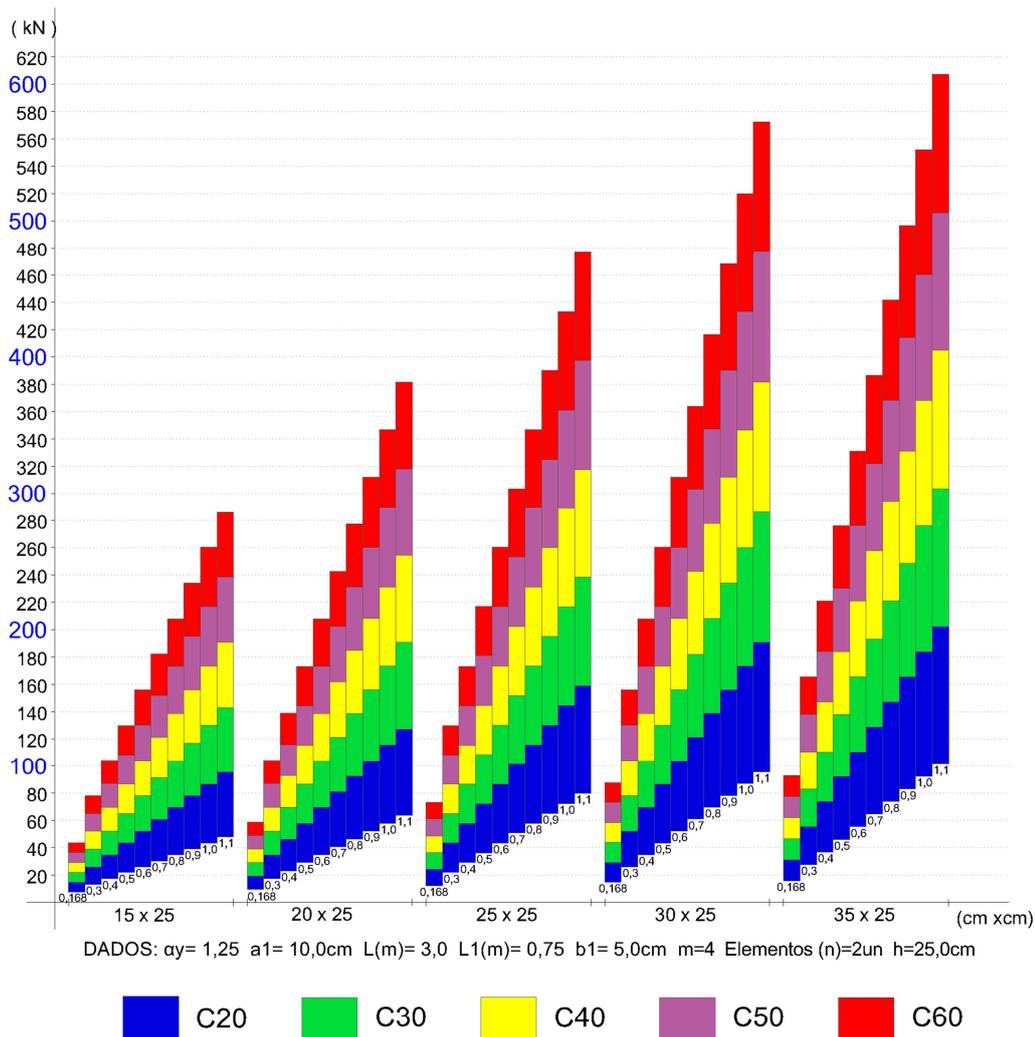


Fonte: Autoria própria (2019).

Para a elaboração do próximo ábaco foi alterado no modelo a dimensão do a_1 , que passou de 5,0 para 10,0 cm, conferindo assim mais resistência para as mesmas seções anteriores, ocorreu um ganho efetivo de resistência de até 29,48% na seção com $h_1 = 35,0$ cm, esse ganho é devido o afastamento dos elementos componentes e o ganho de estabilidade da peça global.

Com a parametrização dos dados: $\alpha_y = 1,25$ $a_1 = 10,0$ cm $L(m) = 3,0$ $L_1(m) = 0,75$ $b_1 = 5,0\text{cm}$ $m = 4$ Elementos (n)=2un $h = 25,0$ cm obtivemos o ábaco 02 conforme figura 20. O ábaco 02 em tamanho para impressão A4 está no apêndice C.

Figura 22 – Ábaco 02

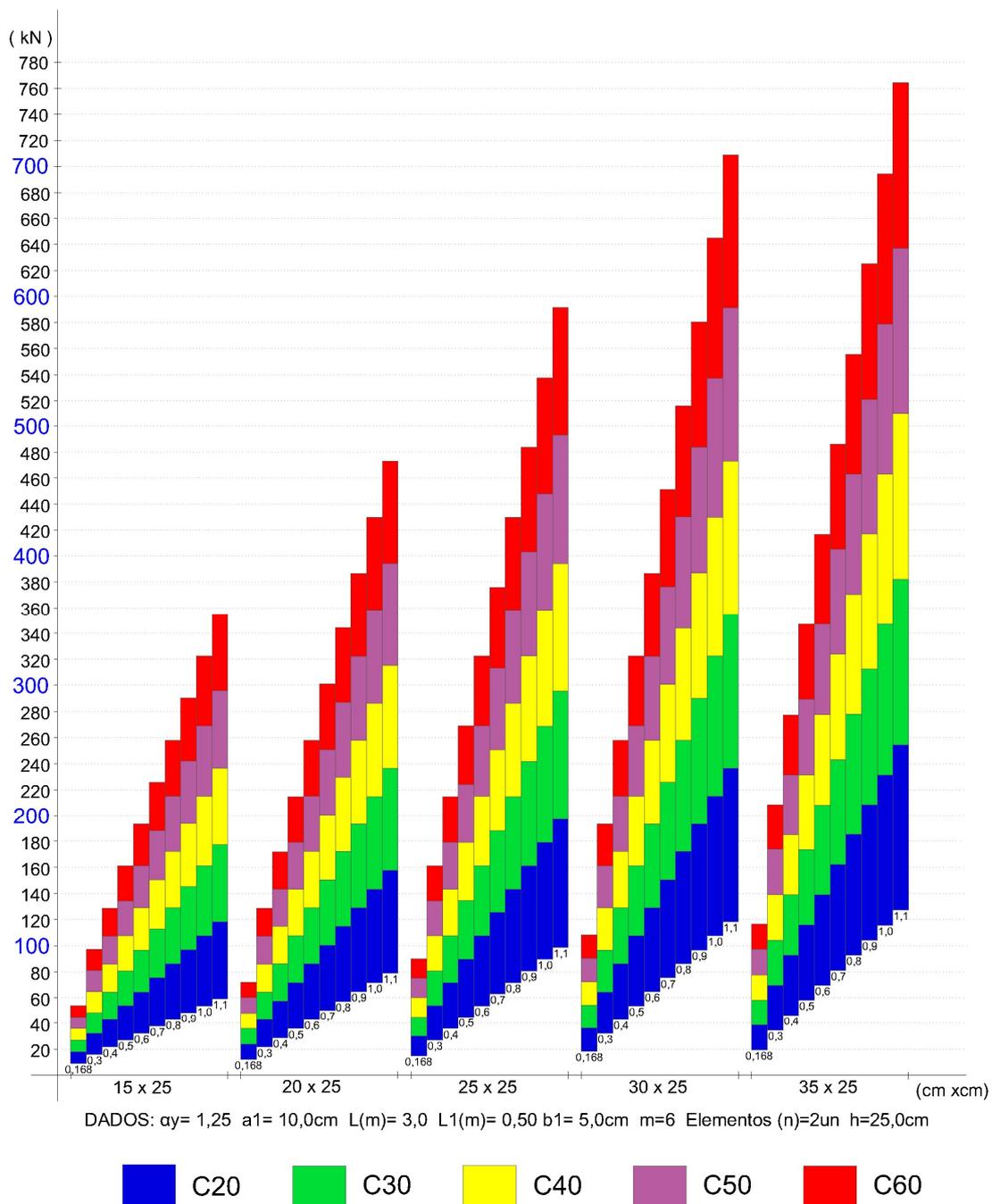


Fonte: Autoria própria (2019).

Para a elaboração do ábaco 3 foi mantido no modelo o $a_1 = 10\text{ cm}$ e foi alterado a distância dos espaçadores verticais $L_1 (m) = 0,5$ com $m = 6$, conferindo assim mais resistência para as mesmas seções anteriores, ocorreu um ganho efetivo de resistência em relação ao modelo do ábaco 02 de até 30,35% na seção com $h_1 = 35,0\text{ cm}$, esse ganho é devido o aumento dos separadores verticais intercalados que confere mais rigidez da peça global.

Com a parametrização dos dados: $\alpha_y = 1,25$ $a_1 = 10,0$ cm $L(m) = 3,0$ $L_1(m) = 0,50$ $b_1 = 5,0$ cm $m = 6$ Elementos $(n) = 2un$ $h = 25,0$ cm obtivemos o ábaco 03 conforme figura 21. O ábaco 03 em tamanho para impressão A4 está no apêndice C.

Figura 23 – Ábaco 03

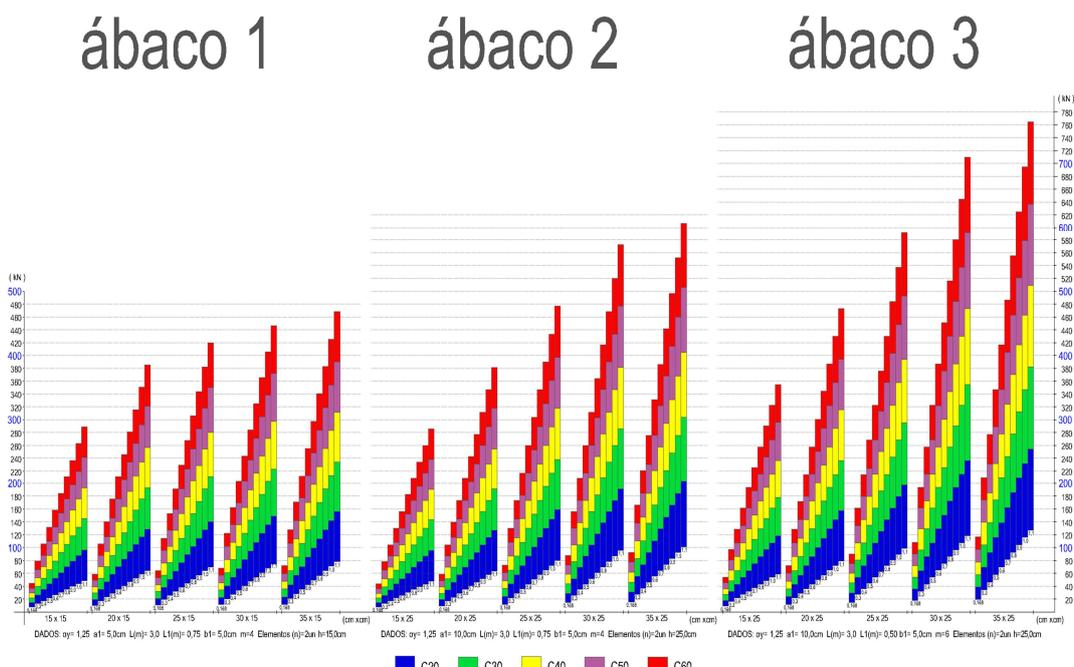


Fonte: Autoria própria (2019).

4.2.1.2 Comparação das resistências percebidas nos ábacos 01, 02 e 03

Com a plotagem dos ábacos em uma mesma folha é possível verificar os ganhos de resistência nos ábacos 02 e 03 em relação a configuração inicial do ábaco 01. As alterações aumentaram a seção no modelo 02 de $h=15\text{cm}$ para $h=25\text{cm}$, no modelo 03 acrescentaram mais travas verticais entre os elementos componentes que passaram de $m=4$ para $m=6$. Devido ao seu tamanho, é indicada a impressão deste ábaco em folha A3. O ábaco da figura 22 em tamanho para impressão A3 está no apêndice E.

Figura 24 – Ábaco de comparação de pilares de seção composta 01, 02 e 03



Fonte: Autoria própria (2019).

Quadro 3 – Características alteradas nos modelos dos ábacos 01, 02 e 03

Alteração	Ábaco 01	Ábaco 02	Ábaco 03
a1 (cm)	5,00	10,00	10,00
L1 (m)	0,75	0,75	0,50
m (un)	4	4	6
h (cm)	15	25	25

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 2: Ganhos de resistência nos modelos 02 e 03

Acréscimos	Ábaco 01	Ábaco 02	Ábaco 03		Ganho	(%)
a1 (cm)	468 kN	610 kN			142 kN	30,35
L1 (m)		610 kN	765 kN		155 kN	25,41
A1 + L1	468 kN		765 kN		297 kN	63,35

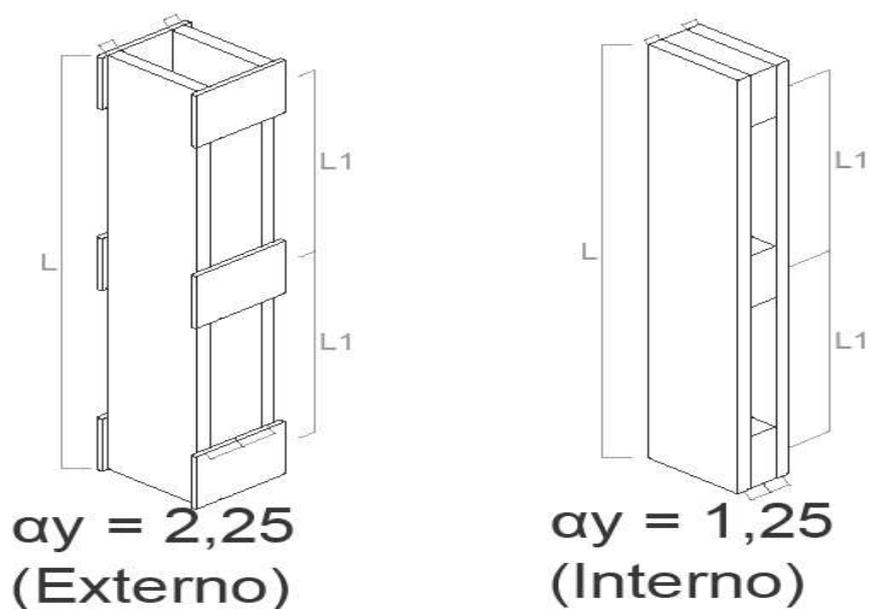
Fonte: Autoria própria (2019).

4.2.1.3 Elaboração dos ábacos 04, 05, 06 e comparativo

Para os ábacos 04, 05, 06 foi alterado o a1 para 7,5 cm, que é a distância entre as peças componetes do pilar composto, aumentado o b1 para 7,5 cm, que é a espessura de cada peça componente, resultando em um h = 22,5 cm.

A medida que os modelos foram sendo alternados entre o ábaco 04 até o 06, percebe-se um ganho de resistência alterando o arranjo das composições.

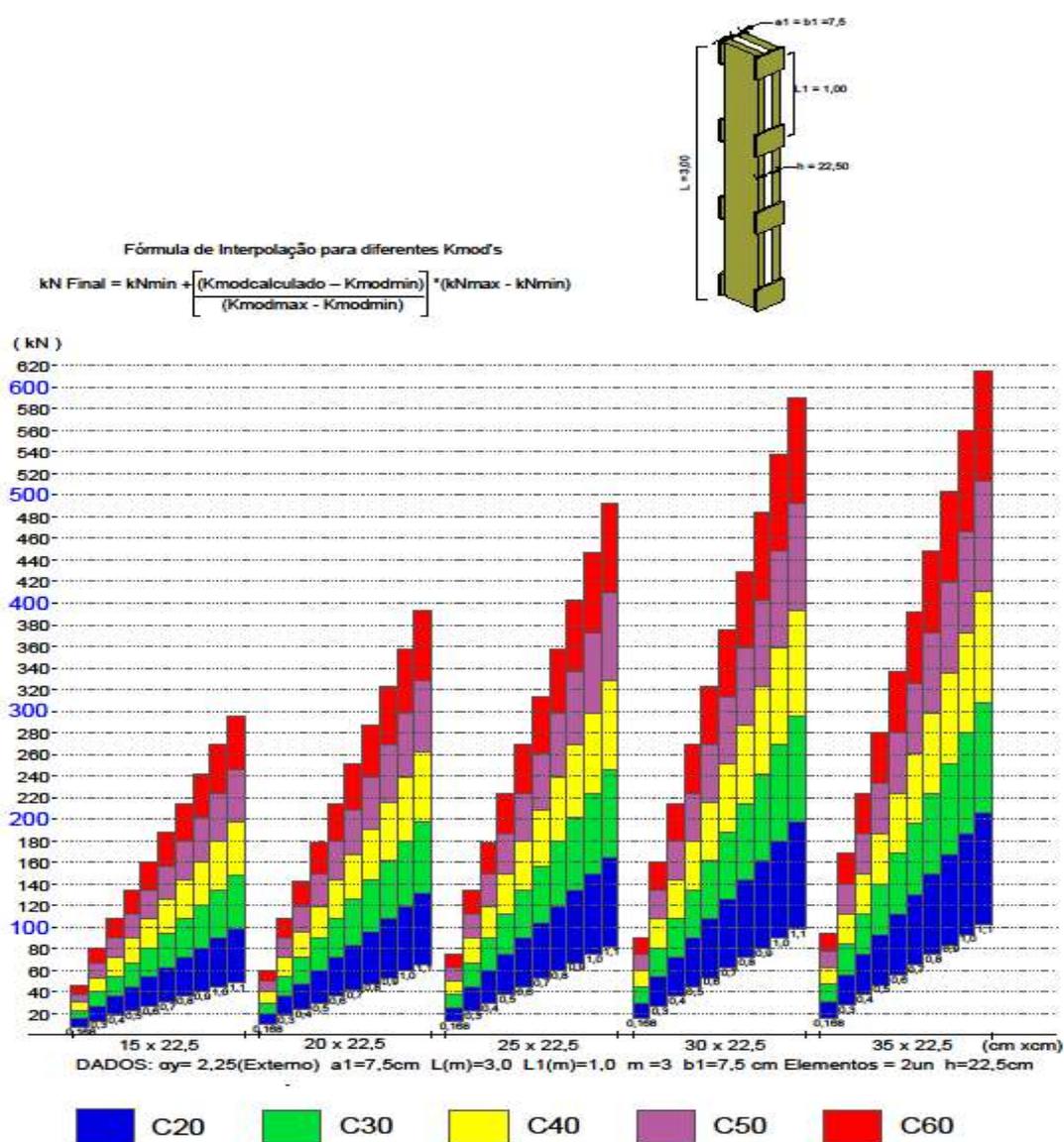
Figura 25– Arranjos de $\alpha_y = 1,25$ e $\alpha_y = 2,25$



Fonte: Autoria própria (2019).

Com a parametrização dos dados: $\alpha_y = 2,25$ $a_1 = 7,50$ cm $L(m) = 3,0$ $L_1(m) = 1,0$ $b_1 = 7,5$ cm $m = 3$ Elementos (n) = 2un $h = 22,50$ cm obtivemos o ábaco 04 conforme figura 26. O ábaco 04 em tamanho para impressão A4 está no apêndice D.

Figura 26 – Ábaco 04



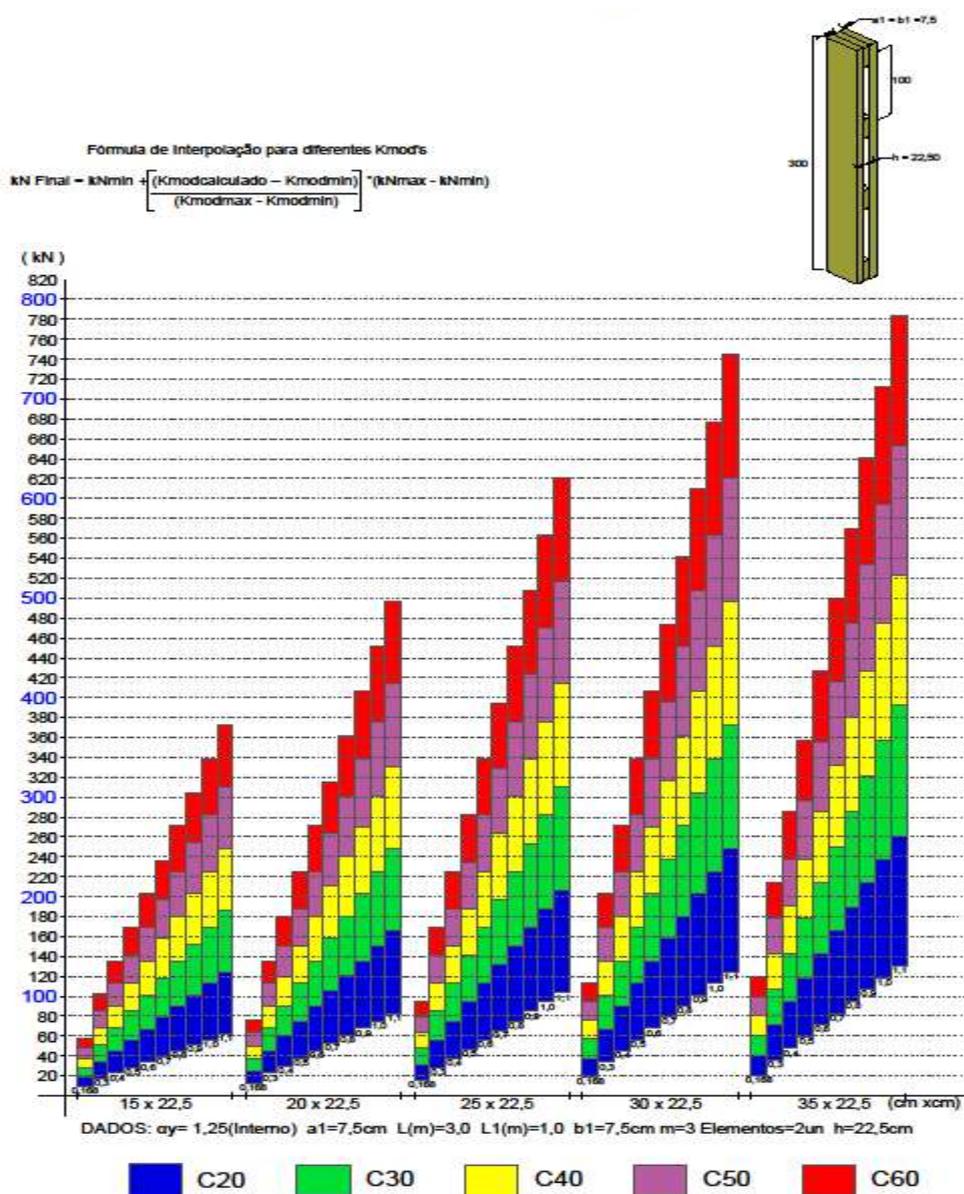
Fonte: Autoria própria (2019).

Para a elaboração do próximo ábaco 05 foi alterado no modelo o arranjo dos espaçadores verticais, conforme figura 25, que impactam em um $\alpha_y = 1,25$, conferindo assim mais resistência para a mesma seção anterior, ocorreu um ganho efetivo de resistência de até 27,48% na seção com $h_1 = 35,0$ cm, esse ganho é devido apenas a

alteração de travamento vertical, ocasionando ganho nos cálculos de flambagem da peça global.

Com a parametrização dos dados: $\alpha_y = 1,25$ $a_1 = 7,50$ cm $L(m) = 3,0$ $L_1(m) = 1,0$ $b_1 = 7,5$ cm $m = 3$ Elementos $(n) = 2$ $un = h = 22,5$ cm obtivemos o ábaco 05 conforme figura 27. O ábaco 05 em tamanho para impressão A4 está no apêndice D.

Figura 27 – Ábaco 05

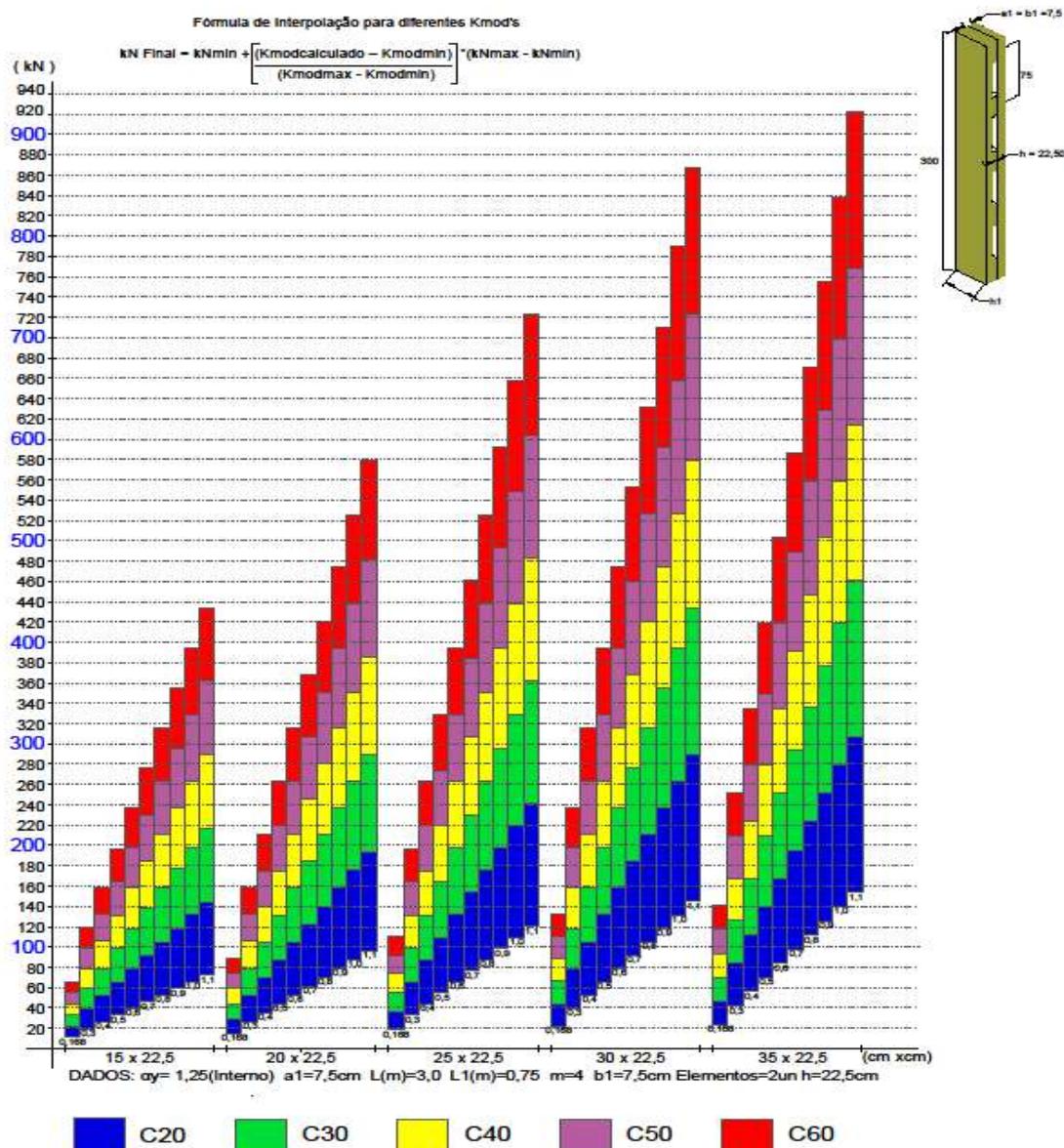


Fonte: Autoria própria (2019).

Para a elaboração do ábaco 06 foi aumentado o m , passando de 3 para 4, consequentemente aumentando a distância do $L1$ (m), passou de 1,00 para 0,75. A alteração neste modelo ficou restrita à distância dos espaçadores, conferindo assim mais resistência para as mesmas seções anteriores, ocorreu um ganho efetivo de resistência em relação ao modelo do ábaco 05 de 17,47% na seção com $h1=35,0$ cm.

Com a parametrização dos dados: $\alpha_y= 1,25$ $a1= 7,5$ cm $L(m)= 3,0$ $L1(m)= 0,75$ $b1= 7,5$ cm $m = 4$ Elementos $(n)=2$ un $h=22,5$ cm obtivemos o ábaco 06 conforme figura 28. O ábaco 06 em tamanho para impressão A4 está no apêndice D.

Figura 28 – Ábaco 06

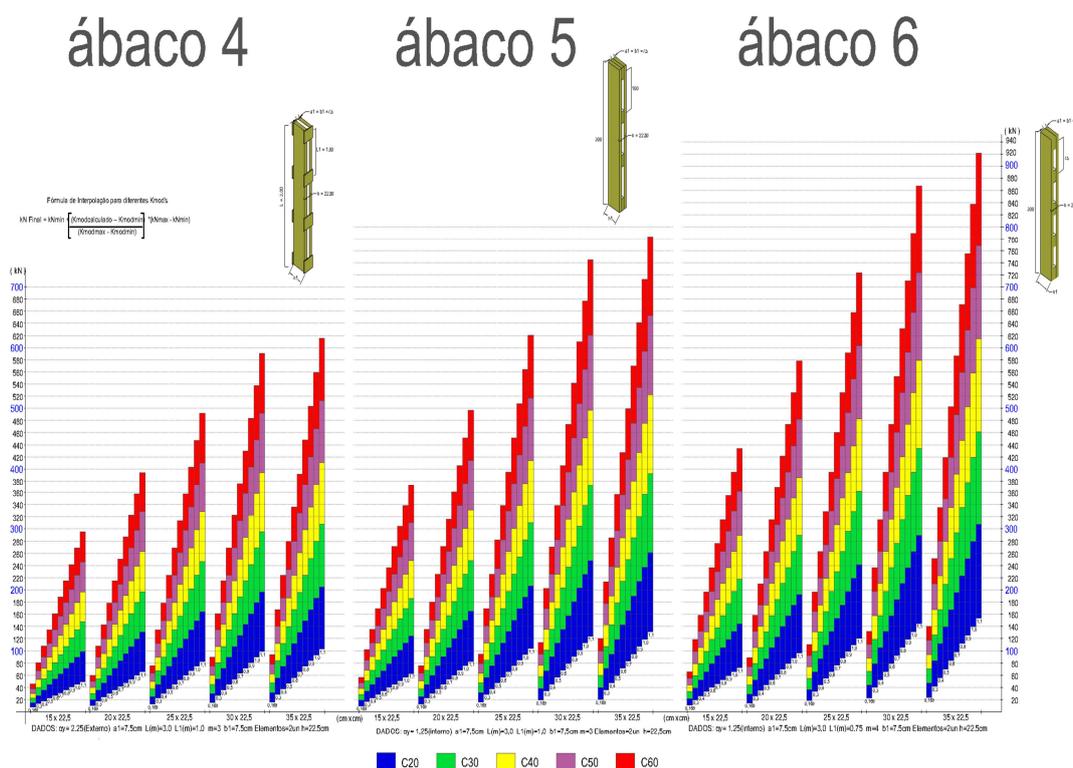


Fonte: Autoria própria (2019).

4.2.1.4 Comparação das resistências percebidas nos ábacos 04, 05 e 06

Com a plotagem dos ábacos em uma mesma folha é possível verificar os ganhos de resistência nos ábacos 05 e 06 em relação a configuração inicial do ábaco 04. As alterações foram no arranjo dos espaçadores verticais, conforme figura 25, que impactam em um $\alpha\gamma = 1,25$, no modelo 05, no modelo 06 acrescentaram mais travas verticais entre os elementos componentes que passaram de $m=3$ para $m=4$. Devido ao seu tamanho, é indicada a impressão deste ábaco em folha A3. O ábaco da figura 29 em tamanho para impressão A3 está no apêndice E.

Figura 29– Ábaco de comparação de pilares de seção composta 04, 05 e 06



Fonte: Autoria própria (2019).

Quadro 4 – Características alteradas nos modelos dos ábacos 04, 05 e 06

Alteração	Ábaco 04	Ábaco 05	Ábaco 06
$\alpha\gamma$	2,25	1,25	1,25
L1 (m)	1,00	1,00	0,75
m (un)	3	3	4

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 3: Ganhos de resistência nos modelos 05 e 06

Acréscimos	Ábaco 04	Ábaco 05	Ábaco 06		Ganho	(%)
$\alpha\gamma$	615 kN	784 kN			169 kN	27,48
L1 (m)		784 kN	921 kN		137 kN	17,47
$\alpha\gamma + L1$	615 kN		921 kN		306 kN	49,75

Fonte: Autoria própria (2019).

4.2.1.5 Discussão dos resultados das alterações das seções 02, 03 , 05 e 06

Os resultados coletados após as alterações de seções e arranjos, nos quatro modelos estudados, demonstraram ganhos significativos de resistência alterando variáveis que não impactam em acréscimo de área de material resistente que incorre diretamente no custo na execução de estruturas de madeira.

O acréscimo de travamentos interpostos verticalmente é uma solução de aumento de resistência em estruturas que não permitam alterações na área de seção do pilar composto. Em estruturas livres de limitação contrutiva da seção do pilar pode ser aumentado a distância entre os elementos componentes do pilar (a_1) acarretando em aumento de resistência.

O travamento externo, $\alpha\gamma = 2,25$, comparado ao interno, $\alpha\gamma = 1,25$, é o que confere menos resistência para o conjunto do pilar composto, portanto optando pelo segundo método construtivo a estrutura se beneficia com acréscimo de resistência.

Dois modelos poderiam ser acrescidos no estudo, porém o resultado seria pouco útil na intenção de agregar capacidade resistente aos conjuntos. É o aumento do m, com o aumento do $\alpha\gamma$. Por esse motivo ficaram fora dos ábacos fornecidos nesse estudo.

4.2.2 Interpretação e leitura do ábaco

4.2.2.1 Interpretação das informações do ábaco

Para se obter as respostas aos inúmeros resultados de resistências, seções e classes de madeira que o ábaco apresenta deve-se proceder alguns passos para obter as informações necessárias, que serão mostradas na sequência.

O ábaco foi dividido, em cores, nas cinco classes de madeiras C20, C30, C40, C50, C60, a classe C50 foi incluída com o intuito de atender a nova versão da NBR 7190 que encontra-se em revisão. A face superior de cada cor representa a máxima resistência atendida pela classe da madeira para o k_{mod} e seção correspondente.

Figura 30 – Cor das classes no ábaco

Cor	Classe
	C 20
	C 30
	C 40
	C 50
	C 60

Fonte: Autoria própria (2019).

O ábaco possui um conjunto de 5 seções diferentes determinadas a partir dos dados de entrada que foram inseridos conforme tabela 1, que fornece o valor de h e também parâmetros pré estabelecidos para a outra face da seção h_1 . Tomando como exemplo o ábaco 1 a configuração da seção fica conforme quadro 03.

Quadro 5 – Exemplo de seções no ábaco

SEÇÕES ÁBACO 01	
h (cm)	h_1 (cm)
15,00	15,00
15,00	20,00
15,00	25,00
15,00	30,00
15,00	35,00

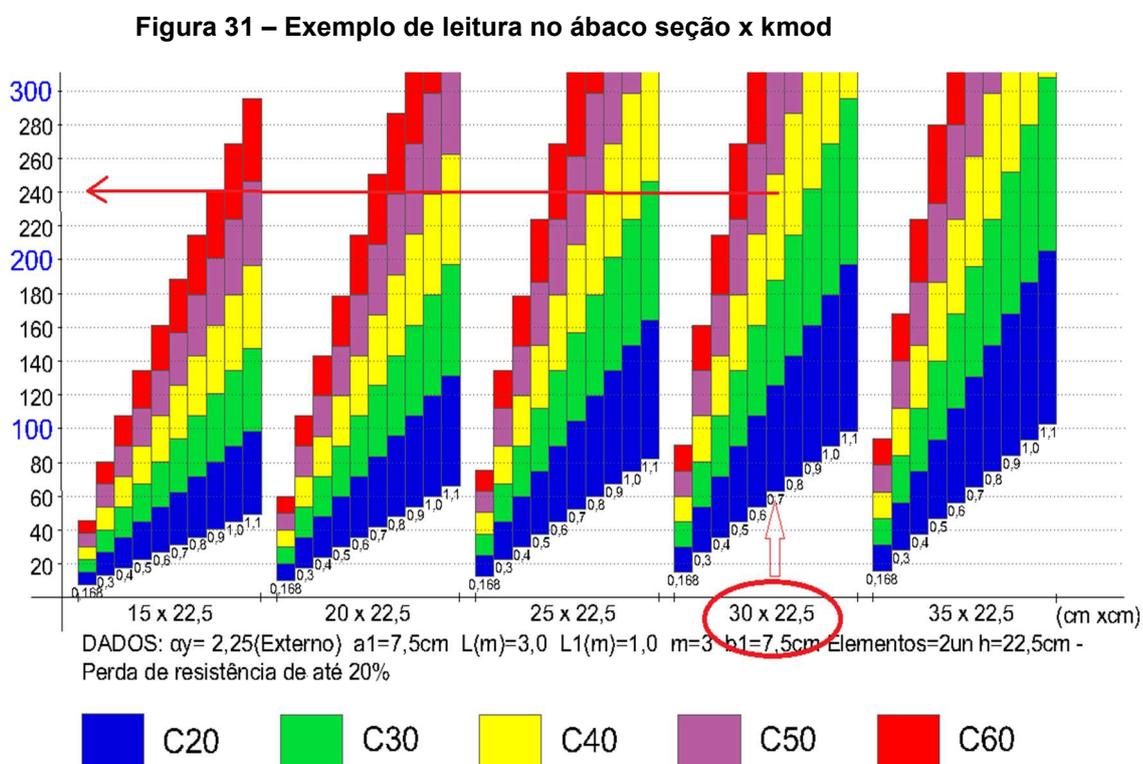
Fonte: Autoria própria (2019).

A resistência em kilo Newton, que cada conjunto de dados proporciona, está disposta no eixo das ordenadas do ábaco, numa graduação de 20 em 20 kN, sendo os múltiplos de 100 grifados em azul para facilitar a visualização. Foram dispostas linhas horizontais na área do ábaco para obter uma precisão maior nas leituras das resistências.

4.2.2.2 Leitura dos pontos de interesse no ábaco

O ábaco possibilita uma leitura prática das informações, sendo necessário apenas 2 variáveis, como o k_{mod} e a seção, para obter qual classe de madeira ideal utilizar para uma determinada solicitação de esforços.

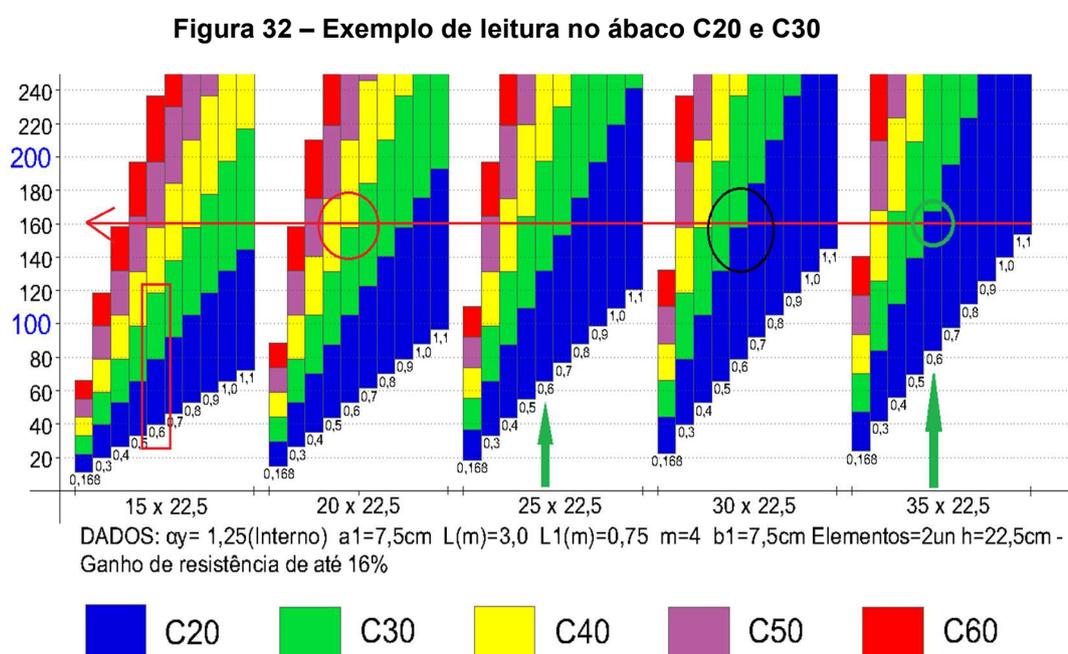
Neste exemplo é mostrado como determinar qual classe de madeira atende às limitações de $k_{mod} = 0,7$; seção = 30 x 22,5 e uma solicitação de 240 kN, utilizamos o ábaco 04 como referência.



Fonte: Autoria própria (2019).

No exemplo fica visível que a classe de madeira que atende os requisitos limitantes é a C40, porém podemos identificar que algumas outras soluções são oferecidas com classes C50 e a C60 e menores seções.

Agora será utilizada como limitação a classe de madeira, que é uma realidade nas rotinas de muitas obras de construção de madeira e também um fator que impacta diretamente na economia das edificações. Neste exemplo há apenas a classe 20 ou 30 disponível, a limitação do $k_{mod} = 0,6$ e a solicitação é de 160 kN; obteremos assim um conjunto de soluções com diferentes seções, utilizamos o ábaco 06 como referência.



Fonte: Autoria própria (2019).

Inicialmente é necessário traçar uma linha horizontal na resistência exigida pelo projeto, em cada seção disposta no ábaco verificasse a coluna do $k_{mod} = 0,6$, as células de C20 e C30 que não cruzam a linha de 160 kN, não atendem o solicitado é o caso da seção 15 x 22,5 e 20 x 22,5, está em por sua vez ficou bem próxima d na classe C30, mas não atendeu. Já na seção 25 x 22,5 e 30 x 22,5 apenas a C30 atendeu e na seção mais robusta do ábaco 35 x 22,5 tanto C20 quanto C30 atenderam o solicitado.

4.2.2.3 Método de Interpolação dos kmod's intermediários

Para possibilitar a criação do ábaco delimitamos os kmod's de interesse utilizamos no kmod inferior as situações mais desfavoráveis $k_{mod,1} = 0,3$; $k_{mod,2} = 0,65$; $k_{mod,03} = 0,80$ resultando um $k_{mod} = 0,168$, para a situação ótima o kmod superior foi definido da seguinte forma $k_{mod,1} = 1,1$; $k_{mod,2} = 1,0$; $k_{mod,03} = 1,0$ resultando um $k_{mod} = 1,10$.

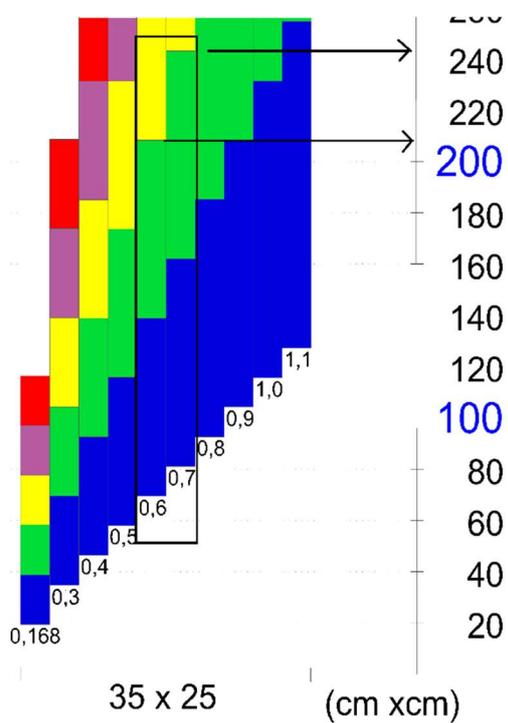
E para os demais valores de kmod implicitamente presentes nos ábacos deve ser usada a fórmula de interpolação abaixo:

Fórmula de Interpolação para diferentes Kmod's

$$kN \text{ Final} = kN_{min} + \left[\frac{(K_{mod} \text{ calculado} - K_{mod} \text{ min})}{(K_{mod} \text{ max} - K_{mod} \text{ min})} \right] * (kN_{max} - kN_{min}) \quad (19)$$

É demonstrado a seguir um exemplo de como obter a resistência de um kmod intermediário, o $k_{mod} \text{ calculado} = 0,66$, a seção escolhida é 35 x 25 cm, a classe da madeira é a C30 (verde).

Figura 33 – Exemplo de interpolação kmod



Fonte: Autoria própria (2019).

Os cálculos ficam da seguinte maneira:

$$kN \text{ Final} = 208 + \left(\frac{0,66 - 0,60}{0,70 - 0,60} \right) * (244 - 208)$$

Resultando em $kN \text{ Final} = 229,60 \text{ kN}$.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista que a norma vigente NBR 7190/97 é pouco aprofundada para o dimensionamento de pilares de madeiras de seção composta, o presente trabalho propôs facilitar este dimensionamento através da criação de ferramentas como planilhas e ábacos.

A planilha gerada permite que o usuário entre com os dados do seu estudo, e apresenta diversas combinações possíveis para que este possa escolher quais dimensões melhor atendem os critérios de sua obra.

Os ábacos gerados apresentam fácil leitura e mais de 1.500 combinações possível para quem for utilizá-lo. O propósito é que seja utilizado como uma ferramenta na qual a pessoa possa se basear para pré-dimensionar uma estrutura.

Foi verificado que utilizando quantidade quase idêntica de madeira pode-se aumentar consideravelmente a resistência de um pilar pelo afastamento de suas seções componentes, já que essa distância entre as seções gera um aumento da inércia relativa da seção composta.

Por meio das comparações dos ábacos pôde-se concluir que os espaçadores interpostos oferecem maior resistência a uma mesma seção, porém, são mais limitados no espaçamento possível entre seções componentes.

É também facilmente observado nos gráficos e ábacos que apenas variando os coeficientes de modificação ($k_{mod,1}$, $k_{mod,2}$ e $k_{mod,3}$) podemos obter uma combinação com um aumento de mais de 5 vezes na resistência, portanto, sempre que possível é recomendado o uso de madeira de primeira qualidade.

Como a norma NBR 7190/97 não entra em detalhes sobre a excentricidade a ser considerada no pré-dimensionamento, o valor utilizado para esse estudo é uma estimativa.

6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, propomos a plotagem dos ábacos em intervalos de K_{mod} mais incidentes nas configurações das madeiras disponíveis no Brasil.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Felipe A. L. de. **A Madeira como Material Estrutural – Projeto da Estrutura da Cobertura de um Edifício**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2012.

ANDRADE JUNIOR, Jairo Ribas; ALMEIDA, Diego Henrique de; ALMEIDA, Tiago Hendrigo de; CHRISTOFORO, André Luis ; STAMATO, Guilherme Corrêa ; LAHR, Francisco Antonio Rocco. **Avaliação das estruturas de cobertura em madeira de um galpão de estoque de produtos químicos**. Ambiente Construído (Online) , v. 14, p. 75-85, 2014.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8681: Ações e Segurança nas Estruturas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BACARJI, Edgar. **Análise de estruturas de edifícios: projeto de pilares**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escolha de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

CALIL JUNIOR, Carlito; LAHR, Francisco Antonio Rocco; DIAS, Antonio Alves. **Dimensionamento de Elemento Estruturais de Madeira**. 1 ed. São Paulo: Manole, 2003.

CURY, Alexandre A. **Flambagem**. Universidade Federal de Juiz de Fora – Departamento de Mecânica Aplicada e Computacional. Juiz de Fora, 2015. Disponível em: <http://www.ufjf.br/mac003/files/2015/01/flambagem.pdf>. Acesso em 05 jun. 2019.

DORIGON, Giovanna. **Comparação experimental e numérica entre o dimensionamento de ligações pregadas feitas de acordo com a ABNT NBR 7190:1997 e o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004**. 2018.38f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Engenharia Civil) - Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004: Design of timber structures. Parte 1 – 1: General – common rules and rules for buildings**. Bruxelas; CEN, 2004.

FIGUEIREDO, Cezar Augusto S.; CARRASCO, Edgar Vladimiro Mantilla. **Do artesanal ao industrial: dois momentos da carpintaria no Brasil**. In: 4º SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE ARQUITETURA E DOCUMENTAÇÃO, 2015, Belo Horizonte.

FUSCO, Pericles Brasiliense. **Fundamentos do projeto estrutural**. São Paulo: Editora Mc Graw-Hill, 1976.

GÓES, Jorge Luís Nunes. **Análise de vigas de madeira pregadas com seção composta**. Orientador: Antônio Alves Dias. 2002. 123p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002.

HENRIQUES, Antonio Abel Ribeiro. **Segurança Estrutural**. *In*: Texto de apoio à disciplina Segurança Estrutural, Porto. **Notas de aula**. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 1998.

MELO, Júlio Eustáquio de. **Sistemas Estruturais em Madeira**. Brasília: Universidade de Brasília, 2013. Disponível em: http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/Julio-Apostila/Uso da Madeira em Estruturas-ApostilaSEM_I2014.pdf. Acesso em: 12 maio 2019.

NETO, Gustavo; LOPES, Rogério Coelho.; LOPES, Arlindo. **Método dos elementos Finitos em Treliças Planas na Disciplina de Análise Computacional**. *In*: XXXV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2007, Curitiba.

PFEIL, Walter. ; PFEIL, Michele. **Estruturas de Madeira**. 6. ed. São Paulo: LTC, 2003. 240p. ISBN 978-8521613855.

SZÜCS, Carlos Alberto. et al. **Estruturas de Madeira**. Apostila de madeira – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico – Departamento de Engenharia Civil, Curitiba, 2016. Disponível em: https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/1313798/mod_resource/content/0/Apostilamadeiras2015-1.pdf. Acesso em: 26 jun. 2019.

VIEIRA, Mariana de Carvalho Silva; GESUALDO, Francisco Antonio Romero. **Efeitos produzidos por entalhes nos terços extremos do vão de vigas estruturais de madeira**. *Ciência & Engenharia (Science & Engineering Journal)*, v. 25, n. 1, 2016.

ZAGOTTIS, Décio Leal de. **Pontes e grandes estrutura**. IV Introdução da segurança no projeto estrutural Universidade de São Paulo Escola Politécnica, 1981.

GÓMEZ, Luis A. **Resistência dos sólidos**. Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, 2002. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/~luis/ecv5645/flexao%20composta.htm>. Acesso em 30 set. 2019.

APÊNDICE A – TABELAS DE DADOS DOS ÁBACOS 01, 02, 03.

Tabela 4: Dados ábaco 01

DADOS 01: $\alpha_y = 1,25$ (Interno) $a_1 = 5,0\text{cm}$ $L(\text{m}) = 3,0$ $L_1(\text{m}) = 0,75$
 $b_1 = 5,0\text{cm}$ $m = 4$ Elementos $(n) = 2\text{un}$ $h = 15,0\text{cm}$

Seção	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd
(cm x cm)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)
5X15	0,168	14,73	0,3	26,30	0,4	35,07	0,5	43,84	0,6	52,61
5X20	0,168	19,64	0,3	35,07	0,4	46,76	0,5	58,45	0,6	70,15
5X25	0,168	21,39	0,3	38,20	0,4	50,93	0,5	63,66	0,6	76,40
5X30	0,168	22,74	0,3	40,61	0,4	54,15	0,5	67,69	0,6	81,22
5X35	0,168	23,82	0,3	42,53	0,4	56,71	0,5	70,88	0,6	85,06
5X15	0,168	22,10	0,3	39,46	0,4	52,61	0,5	65,76	0,6	78,91
5X20	0,168	29,46	0,3	52,61	0,4	70,15	0,5	87,68	0,6	105,22
5X25	0,168	32,09	0,3	57,30	0,4	76,40	0,5	95,50	0,6	114,60
5X30	0,168	34,11	0,3	60,92	0,4	81,22	0,5	101,53	0,6	121,84
5X35	0,168	35,73	0,3	63,80	0,4	85,06	0,5	106,33	0,6	127,59
5X15	0,168	29,46	0,3	52,61	0,4	70,15	0,5	87,68	0,6	105,22
5X20	0,168	39,28	0,3	70,15	0,4	93,53	0,5	116,91	0,6	140,29
5X25	0,168	42,78	0,3	76,40	0,4	101,86	0,5	127,33	0,6	152,79
5X30	0,168	45,49	0,3	81,22	0,4	108,30	0,5	135,37	0,6	162,45
5X35	0,168	47,63	0,3	85,06	0,4	113,42	0,5	141,77	0,6	170,12
5X15	0,168	36,83	0,3	65,76	0,4	87,68	0,5	109,60	0,6	131,52
5X20	0,168	49,10	0,3	87,68	0,4	116,91	0,5	146,14	0,6	175,36
5X25	0,168	53,48	0,3	95,50	0,4	127,33	0,5	159,16	0,6	190,99
5X30	0,168	56,86	0,3	101,53	0,4	135,37	0,5	169,22	0,6	203,06
5X35	0,168	59,54	0,3	106,33	0,4	141,77	0,5	177,21	0,6	212,65
5X15	0,168	44,19	0,3	78,91	0,4	105,22	0,5	131,52	0,6	157,83
5X20	0,168	58,92	0,3	105,22	0,4	140,29	0,5	175,36	0,6	210,44
5X25	0,168	64,17	0,3	114,60	0,4	152,79	0,5	190,99	0,6	229,19
5X30	0,168	68,23	0,3	121,84	0,4	162,45	0,5	203,06	0,6	243,67
5X35	0,168	71,45	0,3	127,59	0,4	170,12	0,5	212,65	0,6	255,19
Seção	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd
(cm x cm)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)
5X15	0,7	61,38	0,8	70,15	0,9	78,91	1,0	87,68	1,1	96,45
5X20	0,7	81,84	0,8	93,53	0,9	105,22	1,0	116,91	1,1	128,60
5X25	0,7	89,13	0,8	101,86	0,9	114,60	1,0	127,33	1,1	140,06
5X30	0,7	94,76	0,8	108,30	0,9	121,84	1,0	135,37	1,1	148,91
5X35	0,7	99,24	0,8	113,42	0,9	127,59	1,0	141,77	1,1	155,95
5X15	0,7	92,07	0,8	105,22	0,9	118,37	1,0	131,52	1,1	144,67
5X20	0,7	122,75	0,8	140,29	0,9	157,83	1,0	175,36	1,1	192,90
5X25	0,7	133,70	0,8	152,79	0,9	171,89	1,0	190,99	1,1	210,09

5X30	0,7	142,14	0,8	162,45	0,9	182,75	1,0	203,06	1,1	223,36
5X35	0,7	148,86	0,8	170,12	0,9	191,39	1,0	212,65	1,1	233,92
5X15	0,7	122,75	0,8	140,29	0,9	157,83	1,0	175,36	1,1	192,90
5X20	0,7	163,67	0,8	187,05	0,9	210,44	1,0	233,82	1,1	257,20
5X25	0,7	178,26	0,8	203,73	0,9	229,19	1,0	254,66	1,1	280,12
5X30	0,7	189,52	0,8	216,60	0,9	243,67	1,0	270,75	1,1	297,82
5X35	0,7	198,48	0,8	226,83	0,9	255,19	1,0	283,54	1,1	311,89
5X15	0,7	153,44	0,8	175,36	0,9	197,28	1,0	219,20	1,1	241,12
5X20	0,7	204,59	0,8	233,82	0,9	263,04	1,0	292,27	1,1	321,50
5X25	0,7	222,83	0,8	254,66	0,9	286,49	1,0	318,32	1,1	350,15
5X30	0,7	236,90	0,8	270,75	0,9	304,59	1,0	338,43	1,1	372,27
5X35	0,7	248,10	0,8	283,54	0,9	318,98	1,0	354,42	1,1	389,87
5X15	0,7	184,13	0,8	210,44	0,9	236,74	1,0	263,04	1,1	289,35
5X20	0,7	245,51	0,8	280,58	0,9	315,65	1,0	350,73	1,1	385,80
5X25	0,7	267,39	0,8	305,59	0,9	343,79	1,0	381,99	1,1	420,18
5X30	0,7	284,28	0,8	324,89	0,9	365,51	1,0	406,12	1,1	446,73
5X35	0,7	297,72	0,8	340,25	0,9	382,78	1,0	425,31	1,1	467,84

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 5: Dados ábaco 02

DADOS 02: $\alpha= 1,25$ (Interno) $a_1= 10,0\text{cm}$ $L(\text{m})= 3,0$ $L_1(\text{m})= 0,75$
 $b_1= 5,0\text{cm}$ $m=4$ Elementos $(n)=2\text{un}$ $h=25,0\text{cm}$

Seção	K_{mod}	N_d	K_{mod}	N_d	K_{mod}	N_d	K_{mod}	N_d	K_{mod}	N_d
(cm x cm)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)
5X15	0,168	14,57	0,3	26,01	0,4	34,68	0,5	43,35	0,6	52,02
5X20	0,168	19,42	0,3	34,68	0,4	46,24	0,5	57,80	0,6	69,36
5X25	0,168	24,28	0,3	43,35	0,4	57,80	0,5	72,25	0,6	86,70
5X30	0,168	29,13	0,3	52,02	0,4	69,36	0,5	86,70	0,6	104,04
5X35	0,168	30,92	0,3	55,21	0,4	73,61	0,5	92,02	0,6	110,42
5X15	0,168	21,85	0,3	39,01	0,4	52,02	0,5	65,02	0,6	78,03
5X20	0,168	29,13	0,3	52,02	0,4	69,36	0,5	86,70	0,6	104,04
5X25	0,168	36,41	0,3	65,02	0,4	86,70	0,5	108,37	0,6	130,05
5X30	0,168	43,70	0,3	78,03	0,4	104,04	0,5	130,05	0,6	156,06
5X35	0,168	46,38	0,3	82,82	0,4	110,42	0,5	138,03	0,6	165,63
5X15	0,168	29,13	0,3	52,02	0,4	69,36	0,5	86,70	0,6	104,04
5X20	0,168	38,84	0,3	69,36	0,4	92,48	0,5	115,60	0,6	138,72
5X25	0,168	48,55	0,3	86,70	0,4	115,60	0,5	144,50	0,6	173,40
5X30	0,168	58,26	0,3	104,04	0,4	138,72	0,5	173,40	0,6	208,08
5X35	0,168	61,84	0,3	110,42	0,4	147,23	0,5	184,03	0,6	220,84
5X15	0,168	36,41	0,3	65,02	0,4	86,70	0,5	108,37	0,6	130,05
5X20	0,168	48,55	0,3	86,70	0,4	115,60	0,5	144,50	0,6	173,40
5X25	0,168	60,69	0,3	108,37	0,4	144,50	0,5	180,62	0,6	216,75

5X30	0,168	72,83	0,3	130,05	0,4	173,40	0,5	216,75	0,6	260,10
5X35	0,168	77,29	0,3	138,03	0,4	184,03	0,5	230,04	0,6	276,05
5X15	0,168	43,70	0,3	78,03	0,4	104,04	0,5	130,05	0,6	156,06
5X20	0,168	58,26	0,3	104,04	0,4	138,72	0,5	173,40	0,6	208,08
5X25	0,168	72,83	0,3	130,05	0,4	173,40	0,5	216,75	0,6	260,10
5X30	0,168	87,39	0,3	156,06	0,4	208,08	0,5	260,10	0,6	312,11
5X35	0,168	92,75	0,3	165,63	0,4	220,84	0,5	276,05	0,6	331,26
Seção	K_{mod}	N_d	K_{mod}	N_d	K_{mod}	N_d	K_{mod}	N_d	K_{mod}	N_d
(cm x cm)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)
5X15	0,7	60,69	0,8	69,36	0,9	78,03	1,0	86,70	1,1	95,37
5X20	0,7	80,92	0,8	92,48	0,9	104,04	1,0	115,60	1,1	127,16
5X25	0,7	101,15	0,8	115,60	0,9	130,05	1,0	144,50	1,1	158,95
5X30	0,7	121,38	0,8	138,72	0,9	156,06	1,0	173,40	1,1	190,74
5X35	0,7	128,82	0,8	147,23	0,9	165,63	1,0	184,03	1,1	202,44
5X15	0,7	91,03	0,8	104,04	0,9	117,04	1,0	130,05	1,1	143,05
5X20	0,7	121,38	0,8	138,72	0,9	156,06	1,0	173,40	1,1	190,74
5X25	0,7	151,72	0,8	173,40	0,9	195,07	1,0	216,75	1,1	238,42
5X30	0,7	182,07	0,8	208,08	0,9	234,09	1,0	260,10	1,1	286,11
5X35	0,7	193,24	0,8	220,84	0,9	248,45	1,0	276,05	1,1	303,66
5X15	0,7	121,38	0,8	138,72	0,9	156,06	1,0	173,40	1,1	190,74
5X20	0,7	161,84	0,8	184,96	0,9	208,08	1,0	231,20	1,1	254,32
5X25	0,7	202,30	0,8	231,20	0,9	260,10	1,0	288,99	1,1	317,89
5X30	0,7	242,76	0,8	277,44	0,9	312,11	1,0	346,79	1,1	381,47
5X35	0,7	257,65	0,8	294,45	0,9	331,26	1,0	368,07	1,1	404,87
5X15	0,7	151,72	0,8	173,40	0,9	195,07	1,0	216,75	1,1	238,42
5X20	0,7	202,30	0,8	231,20	0,9	260,10	1,0	288,99	1,1	317,89
5X25	0,7	252,87	0,8	288,99	0,9	325,12	1,0	361,24	1,1	397,37
5X30	0,7	303,44	0,8	346,79	0,9	390,14	1,0	433,49	1,1	476,84
5X35	0,7	322,06	0,8	368,07	0,9	414,08	1,0	460,08	1,1	506,09
5X15	0,7	182,07	0,8	208,08	0,9	234,09	1,0	260,10	1,1	286,11
5X20	0,7	242,76	0,8	277,44	0,9	312,11	1,0	346,79	1,1	381,47
5X25	0,7	303,44	0,8	346,79	0,9	390,14	1,0	433,49	1,1	476,84
5X30	0,7	364,13	0,8	416,15	0,9	468,17	1,0	520,19	1,1	572,21
5X35	0,7	386,47	0,8	441,68	0,9	496,89	1,0	552,10	1,1	607,31

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 6: Dados ábaco 03

DADOS 03: $\alpha_y = 1,25$ (Interno) $a_1 = 10,0\text{cm}$ $L(\text{m}) = 3,0$ $L_1(\text{m}) = 0,50$
 $b_1 = 5,0\text{cm}$ $m = 6$ Elementos $(n) = 2\text{un}$ $h = 25,0\text{cm}$

Seção	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd
(cm x cm)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)
5X15	0,168	18,05	0,3	32,24	0,4	42,98	0,5	53,73	0,6	64,47
5X20	0,168	24,07	0,3	42,98	0,4	57,31	0,5	71,64	0,6	85,96
5X25	0,168	30,09	0,3	53,73	0,4	71,64	0,5	89,55	0,6	107,46
5X30	0,168	36,10	0,3	64,47	0,4	85,96	0,5	107,46	0,6	128,95
5X35	0,168	38,89	0,3	69,45	0,4	92,60	0,5	115,75	0,6	138,90
5X15	0,168	27,08	0,3	48,35	0,4	64,47	0,5	80,59	0,6	96,71
5X20	0,168	36,10	0,3	64,47	0,4	85,96	0,5	107,46	0,6	128,95
5X25	0,168	45,13	0,3	80,59	0,4	107,46	0,5	134,32	0,6	161,18
5X30	0,168	54,16	0,3	96,71	0,4	128,95	0,5	161,18	0,6	193,42
5X35	0,168	58,34	0,3	104,17	0,4	138,90	0,5	173,62	0,6	208,34
5X15	0,168	36,10	0,3	64,47	0,4	85,96	0,5	107,46	0,6	128,95
5X20	0,168	48,14	0,3	85,96	0,4	114,62	0,5	143,27	0,6	171,93
5X25	0,168	60,17	0,3	107,46	0,4	143,27	0,5	179,09	0,6	214,91
5X30	0,168	72,21	0,3	128,95	0,4	171,93	0,5	214,91	0,6	257,89
5X35	0,168	77,78	0,3	138,90	0,4	185,19	0,5	231,49	0,6	277,79
5X15	0,168	45,13	0,3	80,59	0,4	107,46	0,5	134,32	0,6	161,18
5X20	0,168	60,17	0,3	107,46	0,4	143,27	0,5	179,09	0,6	214,91
5X25	0,168	75,22	0,3	134,32	0,4	179,09	0,5	223,86	0,6	268,64
5X30	0,168	90,26	0,3	161,18	0,4	214,91	0,5	268,64	0,6	322,37
5X35	0,168	97,23	0,3	173,62	0,4	231,49	0,5	289,37	0,6	347,24
5X15	0,168	54,16	0,3	96,71	0,4	128,95	0,5	161,18	0,6	193,42
5X20	0,168	72,21	0,3	128,95	0,4	171,93	0,5	214,91	0,6	257,89
5X25	0,168	90,26	0,3	161,18	0,4	214,91	0,5	268,64	0,6	322,37
5X30	0,168	108,31	0,3	193,42	0,4	257,89	0,5	322,37	0,6	386,84
5X35	0,168	116,67	0,3	208,34	0,4	277,79	0,5	347,24	0,6	416,69
Seção	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd
(cm x cm)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)
5X15	0,7	75,22	0,8	85,96	0,9	96,71	1,0	107,46	1,1	118,20
5X20	0,7	100,29	0,8	114,62	0,9	128,95	1,0	143,27	1,1	157,60
5X25	0,7	125,36	0,8	143,27	0,9	161,18	1,0	179,09	1,1	197,00
5X30	0,7	150,44	0,8	171,93	0,9	193,42	1,0	214,91	1,1	236,40
5X35	0,7	162,05	0,8	185,19	0,9	208,34	1,0	231,49	1,1	254,64
5X15	0,7	112,83	0,8	128,95	0,9	145,06	1,0	161,18	1,1	177,30
5X20	0,7	150,44	0,8	171,93	0,9	193,42	1,0	214,91	1,1	236,40
5X25	0,7	188,05	0,8	214,91	0,9	241,77	1,0	268,64	1,1	295,50
5X30	0,7	225,66	0,8	257,89	0,9	290,13	1,0	322,37	1,1	354,60
5X35	0,7	243,07	0,8	277,79	0,9	312,52	1,0	347,24	1,1	381,96

5X15	0,7	150,44	0,8	171,93	0,9	193,42	1,0	214,91	1,1	236,40
5X20	0,7	200,58	0,8	229,24	0,9	257,89	1,0	286,55	1,1	315,20
5X25	0,7	250,73	0,8	286,55	0,9	322,37	1,0	358,18	1,1	394,00
5X30	0,7	300,87	0,8	343,86	0,9	386,84	1,0	429,82	1,1	472,80
5X35	0,7	324,09	0,8	370,39	0,9	416,69	1,0	462,99	1,1	509,29
5X15	0,7	188,05	0,8	214,91	0,9	241,77	1,0	268,64	1,1	295,50
5X20	0,7	250,73	0,8	286,55	0,9	322,37	1,0	358,18	1,1	394,00
5X25	0,7	313,41	0,8	358,18	0,9	402,96	1,0	447,73	1,1	492,50
5X30	0,7	376,09	0,8	429,82	0,9	483,55	1,0	537,28	1,1	591,00
5X35	0,7	405,11	0,8	462,99	0,9	520,86	1,0	578,73	1,1	636,61
5X15	0,7	225,66	0,8	257,89	0,9	290,13	1,0	322,37	1,1	354,60
5X20	0,7	300,87	0,8	343,86	0,9	386,84	1,0	429,82	1,1	472,80
5X25	0,7	376,09	0,8	429,82	0,9	483,55	1,0	537,28	1,1	591,00
5X30	0,7	451,31	0,8	515,78	0,9	580,26	1,0	644,73	1,1	709,20
5X35	0,7	486,14	0,8	555,58	0,9	625,03	1,0	694,48	1,1	763,93

Fonte: Autoria própria (2019)

APÊNDICE B – TABELAS DE DADOS DOS ÁBACOS 04, 05, 06.

Tabela 7: Dados ábaco 04

DADOS 04: $\alpha_y = 2,25$ (Externo) $a_1 = 7,5\text{cm}$ $b_1 = 7,5\text{cm}$ $L(\text{m}) = 3,0$ $L_1(\text{m}) = 1,0$
 $m = 3$ Elementos(n)=2un $h = 22,5\text{cm}$

Seção	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd
(cm x cm)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)
5X15	0,168	15,04	0,3	26,86	0,4	35,82	0,5	44,77	0,6	53,72
5X20	0,168	20,06	0,3	35,82	0,4	47,76	0,5	59,69	0,6	71,63
5X25	0,168	25,07	0,3	44,77	0,4	59,69	0,5	74,62	0,6	89,54
5X30	0,168	30,09	0,3	53,72	0,4	71,63	0,5	89,54	0,6	107,45
5X35	0,168	31,33	0,3	55,95	0,4	74,60	0,5	93,25	0,6	111,90
5X15	0,168	22,56	0,3	40,29	0,4	53,72	0,5	67,16	0,6	80,59
5X20	0,168	30,09	0,3	53,72	0,4	71,63	0,5	89,54	0,6	107,45
5X25	0,168	37,61	0,3	67,16	0,4	89,54	0,5	111,93	0,6	134,31
5X30	0,168	45,13	0,3	80,59	0,4	107,45	0,5	134,31	0,6	161,17
5X35	0,168	47,00	0,3	83,93	0,4	111,90	0,5	139,88	0,6	167,85
5X15	0,168	30,09	0,3	53,72	0,4	71,63	0,5	89,54	0,6	107,45
5X20	0,168	40,11	0,3	71,63	0,4	95,51	0,5	119,39	0,6	143,27
5X25	0,168	50,14	0,3	89,54	0,4	119,39	0,5	149,23	0,6	179,08
5X30	0,168	60,17	0,3	107,45	0,4	143,27	0,5	179,08	0,6	214,90
5X35	0,168	62,67	0,3	111,90	0,4	149,20	0,5	186,50	0,6	223,80
5X15	0,168	37,61	0,3	67,16	0,4	89,54	0,5	111,93	0,6	134,31
5X20	0,168	50,14	0,3	89,54	0,4	119,39	0,5	149,23	0,6	179,08
5X25	0,168	62,68	0,3	111,93	0,4	149,23	0,5	186,54	0,6	223,85
5X30	0,168	75,21	0,3	134,31	0,4	179,08	0,5	223,85	0,6	268,62
5X35	0,168	78,33	0,3	139,88	0,4	186,50	0,5	233,13	0,6	279,76
5X15	0,168	45,13	0,3	80,59	0,4	107,45	0,5	134,31	0,6	161,17
5X20	0,168	60,17	0,3	107,45	0,4	143,27	0,5	179,08	0,6	214,90
5X25	0,168	75,21	0,3	134,31	0,4	179,08	0,5	223,85	0,6	268,62
5X30	0,168	90,26	0,3	161,17	0,4	214,90	0,5	268,62	0,6	322,35
5X35	0,168	94,00	0,3	167,85	0,4	223,80	0,5	279,76	0,6	335,71
Seção	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd
(cm x cm)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)
5X15	0,7	62,68	0,8	71,63	0,9	80,59	1,0	89,54	1,1	98,49
5X20	0,7	83,57	0,8	95,51	0,9	107,45	1,0	119,39	1,1	131,33
5X25	0,7	104,46	0,8	119,39	0,9	134,31	1,0	149,23	1,1	164,16
5X30	0,7	125,36	0,8	143,27	0,9	161,17	1,0	179,08	1,1	196,99
5X35	0,7	130,55	0,8	149,20	0,9	167,85	1,0	186,50	1,1	205,15
5X15	0,7	94,02	0,8	107,45	0,9	120,88	1,0	134,31	1,1	147,74
5X20	0,7	125,36	0,8	143,27	0,9	161,17	1,0	179,08	1,1	196,99
5X25	0,7	156,70	0,8	179,08	0,9	201,47	1,0	223,85	1,1	246,24

5X30	0,7	188,04	0,8	214,90	0,9	241,76	1,0	268,62	1,1	295,48
5X35	0,7	195,83	0,8	223,80	0,9	251,78	1,0	279,76	1,1	307,73
5X15	0,7	125,36	0,8	143,27	0,9	161,17	1,0	179,08	1,1	196,99
5X20	0,7	167,14	0,8	191,02	0,9	214,90	1,0	238,78	1,1	262,65
5X25	0,7	208,93	0,8	238,78	0,9	268,62	1,0	298,47	1,1	328,32
5X30	0,7	250,71	0,8	286,53	0,9	322,35	1,0	358,16	1,1	393,98
5X35	0,7	261,11	0,8	298,41	0,9	335,71	1,0	373,01	1,1	410,31
5X15	0,7	156,70	0,8	179,08	0,9	201,47	1,0	223,85	1,1	246,24
5X20	0,7	208,93	0,8	238,78	0,9	268,62	1,0	298,47	1,1	328,32
5X25	0,7	261,16	0,8	298,47	0,9	335,78	1,0	373,09	1,1	410,40
5X30	0,7	313,39	0,8	358,16	0,9	402,93	1,0	447,70	1,1	492,47
5X35	0,7	326,38	0,8	373,01	0,9	419,63	1,0	466,26	1,1	512,89
5X15	0,7	188,04	0,8	214,90	0,9	241,76	1,0	268,62	1,1	295,48
5X20	0,7	250,71	0,8	286,53	0,9	322,35	1,0	358,16	1,1	393,98
5X25	0,7	313,39	0,8	358,16	0,9	402,93	1,0	447,70	1,1	492,47
5X30	0,7	376,07	0,8	429,80	0,9	483,52	1,0	537,24	1,1	590,97
5X35	0,7	391,66	0,8	447,61	0,9	503,56	1,0	559,51	1,1	615,46

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 8: Dados ábaco 05

DADOS 05: $\alpha_y = 1,25$ (Interno) $a_1 = 7,5\text{cm}$ $b_1 = 7,5\text{cm}$ $L(\text{m}) = 3,0$ $L_1(\text{m}) = 1,0$ $m = 3$
Elementos(n)=2un $h = 22,5\text{cm}$

Seção	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd
(cm x cm)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)
5X15	0,168	18,95	0,3	33,85	0,4	45,13	0,5	56,41	0,6	67,69
5X20	0,168	25,27	0,3	45,13	0,4	60,17	0,5	75,21	0,6	90,26
5X25	0,168	31,59	0,3	56,41	0,4	75,21	0,5	94,02	0,6	112,82
5X30	0,168	37,91	0,3	67,69	0,4	90,26	0,5	112,82	0,6	135,39
5X35	0,168	39,91	0,3	71,27	0,4	95,02	0,5	118,78	0,6	142,53
5X15	0,168	28,43	0,3	50,77	0,4	67,69	0,5	84,62	0,6	101,54
5X20	0,168	37,91	0,3	67,69	0,4	90,26	0,5	112,82	0,6	135,39
5X25	0,168	47,39	0,3	84,62	0,4	112,82	0,5	141,03	0,6	169,23
5X30	0,168	56,86	0,3	101,54	0,4	135,39	0,5	169,23	0,6	203,08
5X35	0,168	59,86	0,3	106,90	0,4	142,53	0,5	178,17	0,6	213,80
5X15	0,168	37,91	0,3	67,69	0,4	90,26	0,5	112,82	0,6	135,39
5X20	0,168	50,54	0,3	90,26	0,4	120,34	0,5	150,43	0,6	180,51
5X25	0,168	63,18	0,3	112,82	0,4	150,43	0,5	188,04	0,6	225,64
5X30	0,168	75,82	0,3	135,39	0,4	180,51	0,5	225,64	0,6	270,77
5X35	0,168	79,82	0,3	142,53	0,4	190,04	0,5	237,55	0,6	285,07
5X15	0,168	47,39	0,3	84,62	0,4	112,82	0,5	141,03	0,6	169,23
5X20	0,168	63,18	0,3	112,82	0,4	150,43	0,5	188,04	0,6	225,64

5X25	0,168	78,98	0,3	141,03	0,4	188,04	0,5	235,04	0,6	282,05
5X30	0,168	94,77	0,3	169,23	0,4	225,64	0,5	282,05	0,6	338,46
5X35	0,168	99,77	0,3	178,17	0,4	237,55	0,5	296,94	0,6	356,33
5X15	0,168	56,86	0,3	101,54	0,4	135,39	0,5	169,23	0,6	203,08
5X20	0,168	75,82	0,3	135,39	0,4	180,51	0,5	225,64	0,6	270,77
5X25	0,168	94,77	0,3	169,23	0,4	225,64	0,5	282,05	0,6	338,46
5X30	0,168	113,72	0,3	203,08	0,4	270,77	0,5	338,46	0,6	406,16
5X35	0,168	119,73	0,3	213,80	0,4	285,07	0,5	356,33	0,6	427,60
Seção	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd
(cm x cm)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)
5X15	0,7	78,98	0,8	90,26	0,9	101,54	1,0	112,82	1,1	124,10
5X20	0,7	105,30	0,8	120,34	0,9	135,39	1,0	150,43	1,1	165,47
5X25	0,7	131,63	0,8	150,43	0,9	169,23	1,0	188,04	1,1	206,84
5X30	0,7	157,95	0,8	180,51	0,9	203,08	1,0	225,64	1,1	248,21
5X35	0,7	166,29	0,8	190,04	0,9	213,80	1,0	237,55	1,1	261,31
5X15	0,7	118,46	0,8	135,39	0,9	152,31	1,0	169,23	1,1	186,16
5X20	0,7	157,95	0,8	180,51	0,9	203,08	1,0	225,64	1,1	248,21
5X25	0,7	197,44	0,8	225,64	0,9	253,85	1,0	282,05	1,1	310,26
5X30	0,7	236,93	0,8	270,77	0,9	304,62	1,0	338,46	1,1	372,31
5X35	0,7	249,43	0,8	285,07	0,9	320,70	1,0	356,33	1,1	391,96
5X15	0,7	157,95	0,8	180,51	0,9	203,08	1,0	225,64	1,1	248,21
5X20	0,7	210,60	0,8	240,69	0,9	270,77	1,0	300,86	1,1	330,94
5X25	0,7	263,25	0,8	300,86	0,9	338,46	1,0	376,07	1,1	413,68
5X30	0,7	315,90	0,8	361,03	0,9	406,16	1,0	451,29	1,1	496,41
5X35	0,7	332,58	0,8	380,09	0,9	427,60	1,0	475,11	1,1	522,62
5X15	0,7	197,44	0,8	225,64	0,9	253,85	1,0	282,05	1,1	310,26
5X20	0,7	263,25	0,8	300,86	0,9	338,46	1,0	376,07	1,1	413,68
5X25	0,7	329,06	0,8	376,07	0,9	423,08	1,0	470,09	1,1	517,10
5X30	0,7	394,88	0,8	451,29	0,9	507,70	1,0	564,11	1,1	620,52
5X35	0,7	415,72	0,8	475,11	0,9	534,50	1,0	593,89	1,1	653,27
5X15	0,7	236,93	0,8	270,77	0,9	304,62	1,0	338,46	1,1	372,31
5X20	0,7	315,90	0,8	361,03	0,9	406,16	1,0	451,29	1,1	496,41
5X25	0,7	394,88	0,8	451,29	0,9	507,70	1,0	564,11	1,1	620,52
5X30	0,7	473,85	0,8	541,54	0,9	609,24	1,0	676,93	1,1	744,62
5X35	0,7	498,86	0,8	570,13	0,9	641,40	1,0	712,66	1,1	783,93

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 9: Dados ábaco 06

DADOS 06: $\alpha_y = 1,25$ (Interno) $a_1 = 7,5\text{cm}$ $b_1 = 7,5\text{cm}$ $L(\text{m}) = 3,0$ $L_1(\text{m}) = 0,75$ $m = 4$
 Elementos(n)=2un $h = 22,5\text{cm}$

Seção	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd
(cm x cm)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)
5X15	0,168	22,10	0,3	39,46	0,4	52,61	0,5	65,76	0,6	78,91
5X20	0,168	29,46	0,3	52,61	0,4	70,15	0,5	87,68	0,6	105,22
5X25	0,168	36,83	0,3	65,76	0,4	87,68	0,5	109,60	0,6	131,52
5X30	0,168	44,19	0,3	78,91	0,4	105,22	0,5	131,52	0,6	157,83
5X35	0,168	46,94	0,3	83,81	0,4	111,75	0,5	139,69	0,6	167,63
5X15	0,168	33,14	0,3	59,19	0,4	78,91	0,5	98,64	0,6	118,37
5X20	0,168	44,19	0,3	78,91	0,4	105,22	0,5	131,52	0,6	157,83
5X25	0,168	55,24	0,3	98,64	0,4	131,52	0,5	164,40	0,6	197,28
5X30	0,168	66,29	0,3	118,37	0,4	157,83	0,5	197,28	0,6	236,74
5X35	0,168	70,40	0,3	125,72	0,4	167,63	0,5	209,53	0,6	251,44
5X15	0,168	44,19	0,3	78,91	0,4	105,22	0,5	131,52	0,6	157,83
5X20	0,168	58,92	0,3	105,22	0,4	140,29	0,5	175,36	0,6	210,44
5X25	0,168	73,65	0,3	131,52	0,4	175,36	0,5	219,20	0,6	263,04
5X30	0,168	88,38	0,3	157,83	0,4	210,44	0,5	263,04	0,6	315,65
5X35	0,168	93,87	0,3	167,63	0,4	223,50	0,5	279,38	0,6	335,25
5X15	0,168	55,24	0,3	98,64	0,4	131,52	0,5	164,40	0,6	197,28
5X20	0,168	73,65	0,3	131,52	0,4	175,36	0,5	219,20	0,6	263,04
5X25	0,168	92,07	0,3	164,40	0,4	219,20	0,5	274,00	0,6	328,81
5X30	0,168	110,48	0,3	197,28	0,4	263,04	0,5	328,81	0,6	394,57
5X35	0,168	117,34	0,3	209,53	0,4	279,38	0,5	349,22	0,6	419,06
5X15	0,168	66,29	0,3	118,37	0,4	157,83	0,5	197,28	0,6	236,74
5X20	0,168	88,38	0,3	157,83	0,4	210,44	0,5	263,04	0,6	315,65
5X25	0,168	110,48	0,3	197,28	0,4	263,04	0,5	328,81	0,6	394,57
5X30	0,168	132,57	0,3	236,74	0,4	315,65	0,5	394,57	0,6	473,48
5X35	0,168	140,81	0,3	251,44	0,4	335,25	0,5	419,06	0,6	502,88
Seção	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd	K_{mod}	Nd
(cm x cm)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)	(adim)	(kN)
5X15	0,7	92,07	0,8	105,22	0,9	118,37	1,0	131,52	1,1	144,67
5X20	0,7	122,75	0,8	140,29	0,9	157,83	1,0	175,36	1,1	192,90
5X25	0,7	153,44	0,8	175,36	0,9	197,28	1,0	219,20	1,1	241,12
5X30	0,7	184,13	0,8	210,44	0,9	236,74	1,0	263,04	1,1	289,35
5X35	0,7	195,56	0,8	223,50	0,9	251,44	1,0	279,38	1,1	307,31
5X15	0,7	138,10	0,8	157,83	0,9	177,56	1,0	197,28	1,1	217,01
5X20	0,7	184,13	0,8	210,44	0,9	236,74	1,0	263,04	1,1	289,35
5X25	0,7	230,16	0,8	263,04	0,9	295,93	1,0	328,81	1,1	361,69
5X30	0,7	276,20	0,8	315,65	0,9	355,11	1,0	394,57	1,1	434,02
5X35	0,7	293,34	0,8	335,25	0,9	377,16	1,0	419,06	1,1	460,97

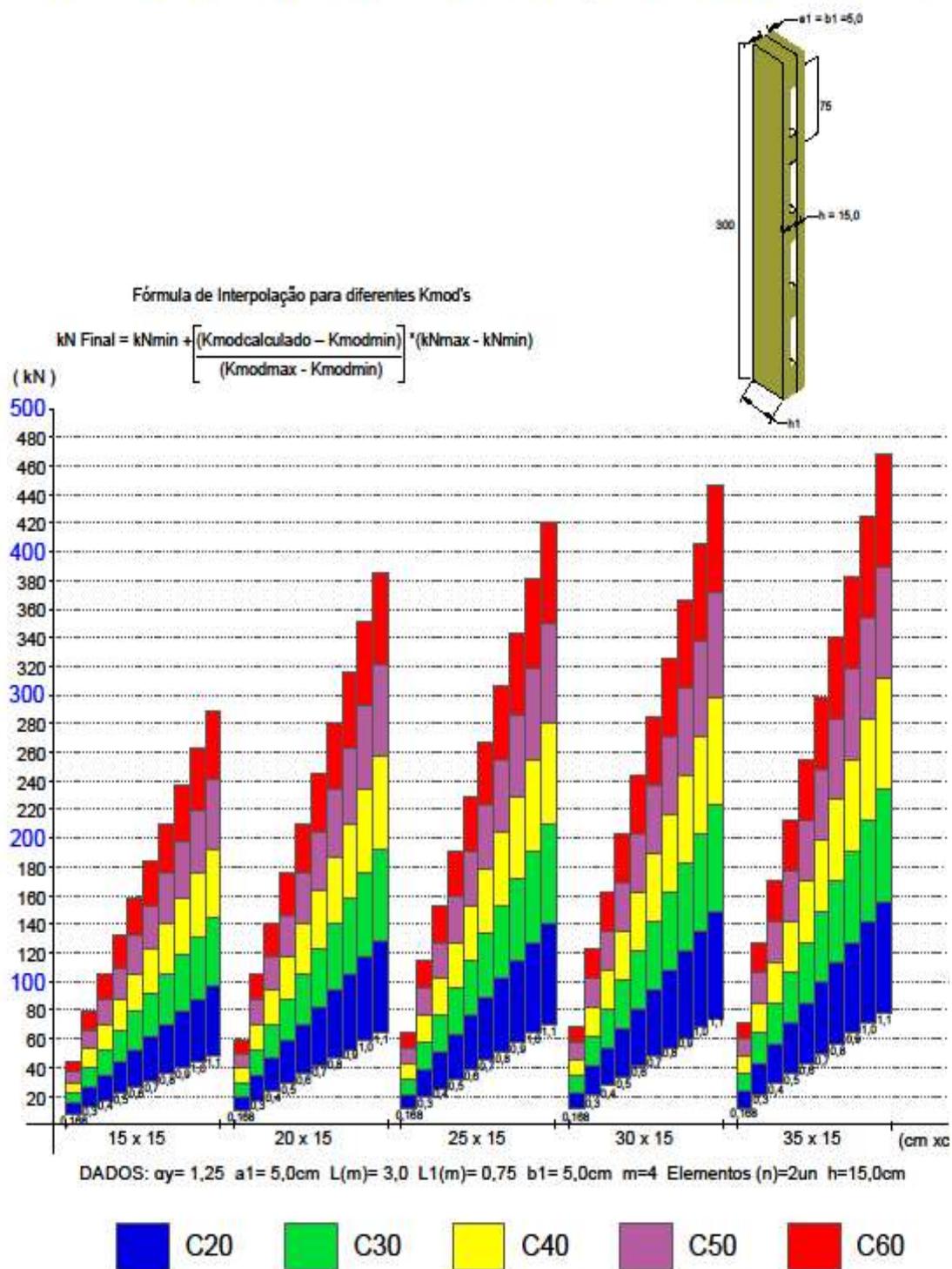
5X15	0,7	184,13	0,8	210,44	0,9	236,74	1,0	263,04	1,1	289,35
5X20	0,7	245,51	0,8	280,58	0,9	315,65	1,0	350,73	1,1	385,80
5X25	0,7	306,89	0,8	350,73	0,9	394,57	1,0	438,41	1,1	482,25
5X30	0,7	368,26	0,8	420,87	0,9	473,48	1,0	526,09	1,1	578,70
5X35	0,7	391,13	0,8	447,00	0,9	502,88	1,0	558,75	1,1	614,63
5X15	0,7	230,16	0,8	263,04	0,9	295,93	1,0	328,81	1,1	361,69
5X20	0,7	306,89	0,8	350,73	0,9	394,57	1,0	438,41	1,1	482,25
5X25	0,7	383,61	0,8	438,41	0,9	493,21	1,0	548,01	1,1	602,81
5X30	0,7	460,33	0,8	526,09	0,9	591,85	1,0	657,61	1,1	723,37
5X35	0,7	488,91	0,8	558,75	0,9	628,59	1,0	698,44	1,1	768,28
5X15	0,7	276,20	0,8	315,65	0,9	355,11	1,0	394,57	1,1	434,02
5X20	0,7	368,26	0,8	420,87	0,9	473,48	1,0	526,09	1,1	578,70
5X25	0,7	460,33	0,8	526,09	0,9	591,85	1,0	657,61	1,1	723,37
5X30	0,7	552,39	0,8	631,31	0,9	710,22	1,0	789,13	1,1	868,05
5X35	0,7	586,69	0,8	670,50	0,9	754,31	1,0	838,13	1,1	921,94

Fonte: Autoria própria (2019)

APÊNDICE C – ÁBACOS PARA IMPRESSÃO 01, 02, 03.

Figura 34 – Ábaco 01 para impressão em A4

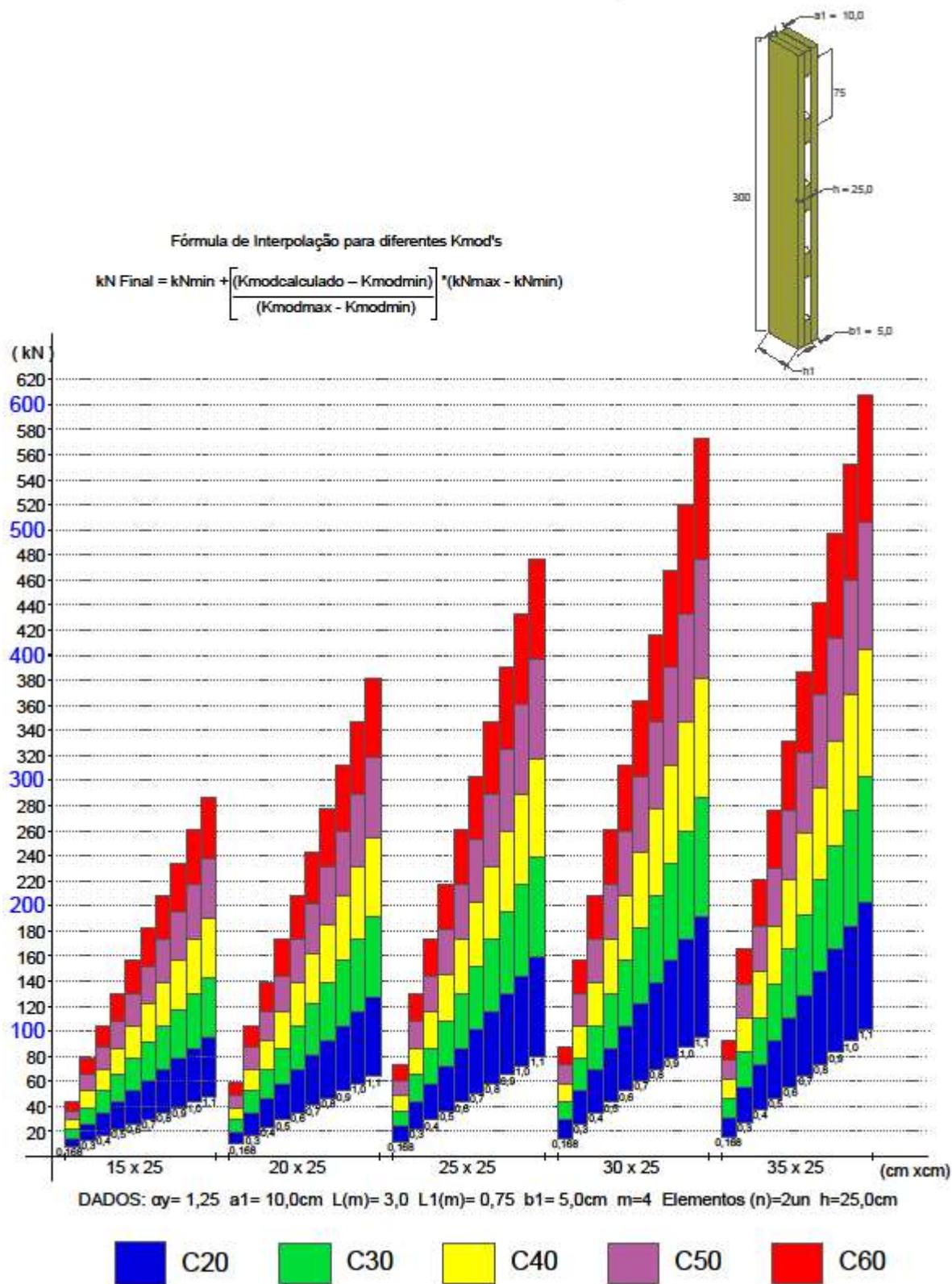
ÁBACO DE PILARES DE SEÇÃO COMPOSTA



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 35 – Ábaco 02 para impressão em A4

ÁBACO DE PILARES DE SEÇÃO COMPOSTA



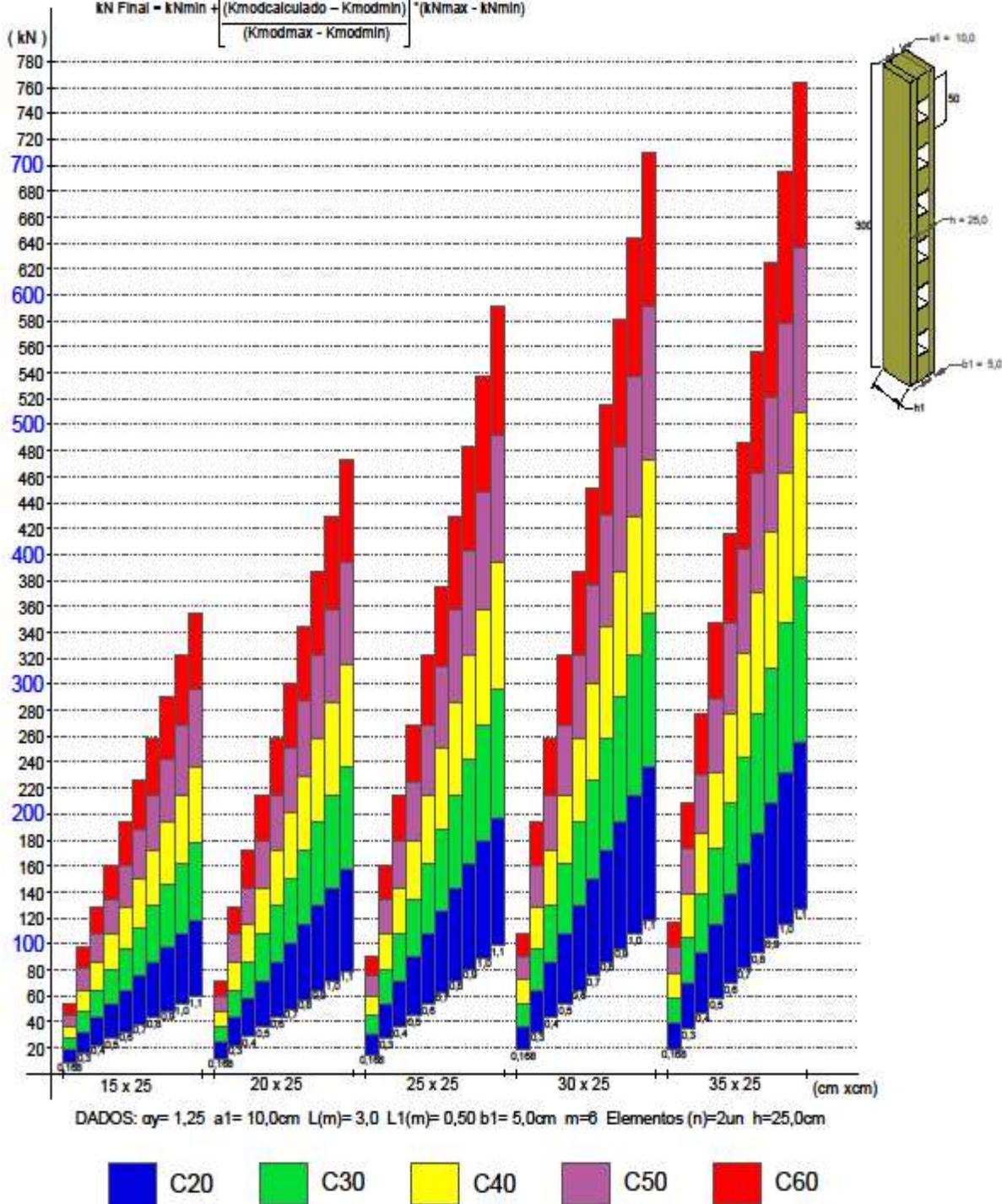
Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 36 – Ábaco 03 para impressão em A4

ÁBACO DE PILARES DE SEÇÃO COMPOSTA

Fórmula de Interpolação para diferentes K_{mod} 's

$$kN \text{ Final} = kN_{min} + \left[\frac{(K_{mod\text{calculado}} - K_{modmin})}{(K_{modmax} - K_{modmin})} \right] \cdot (kN_{max} - kN_{min})$$

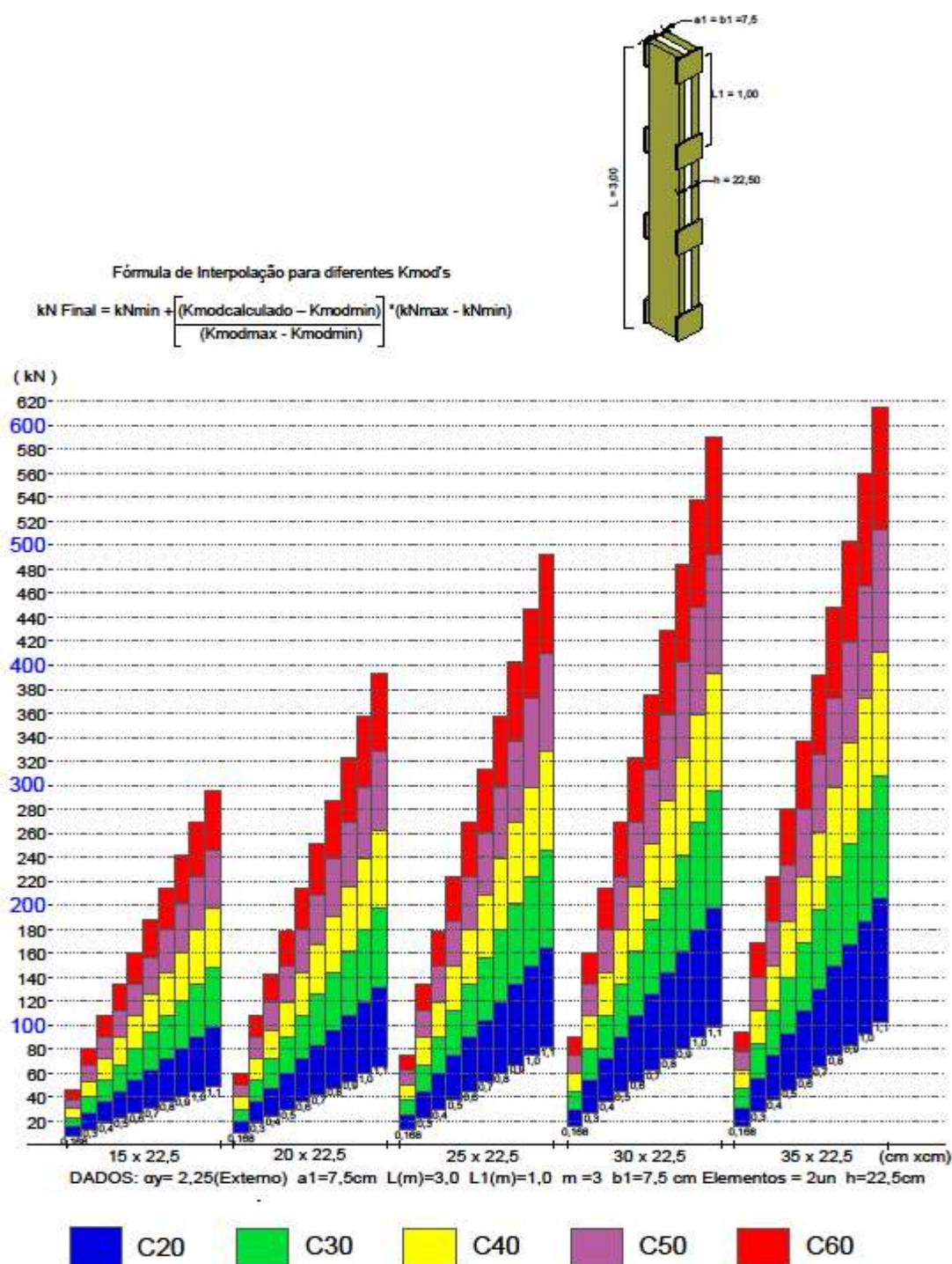


Fonte: Autoria própria (2019).

APÊNDICE D – ÁBACOS PARA IMPRESSÃO 04, 05, 06.

Figura 37 – Ábaco 04 para impressão em A4

ÁBACO DE PILARES DE SEÇÃO COMPOSTA



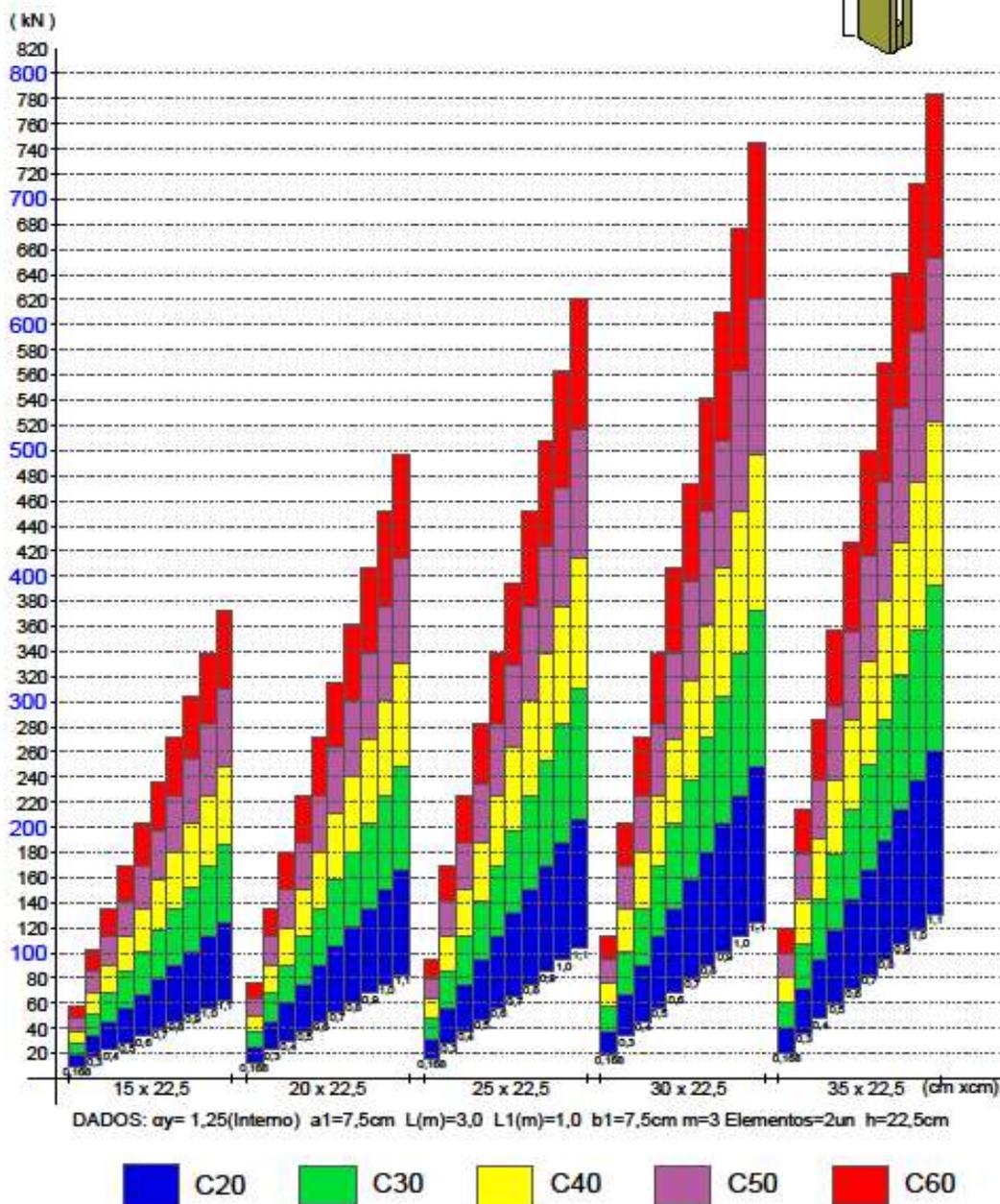
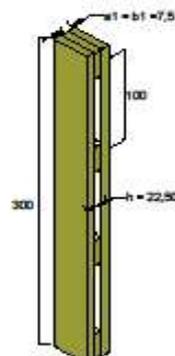
Fonte: Autoria própria (2019) .

Figura 38 – Ábaco 05 para impressão em A4

ÁBACO DE PILARES DE SEÇÃO COMPOSTA

Fórmula de Interpolação para diferentes K_{mod} 's

$$kN \text{ Final} = kN_{min} + \left[\frac{(K_{mod} \text{ calculado} - K_{mod} \text{ min})}{(K_{mod} \text{ max} - K_{mod} \text{ min})} \right] (kN_{max} - kN_{min})$$



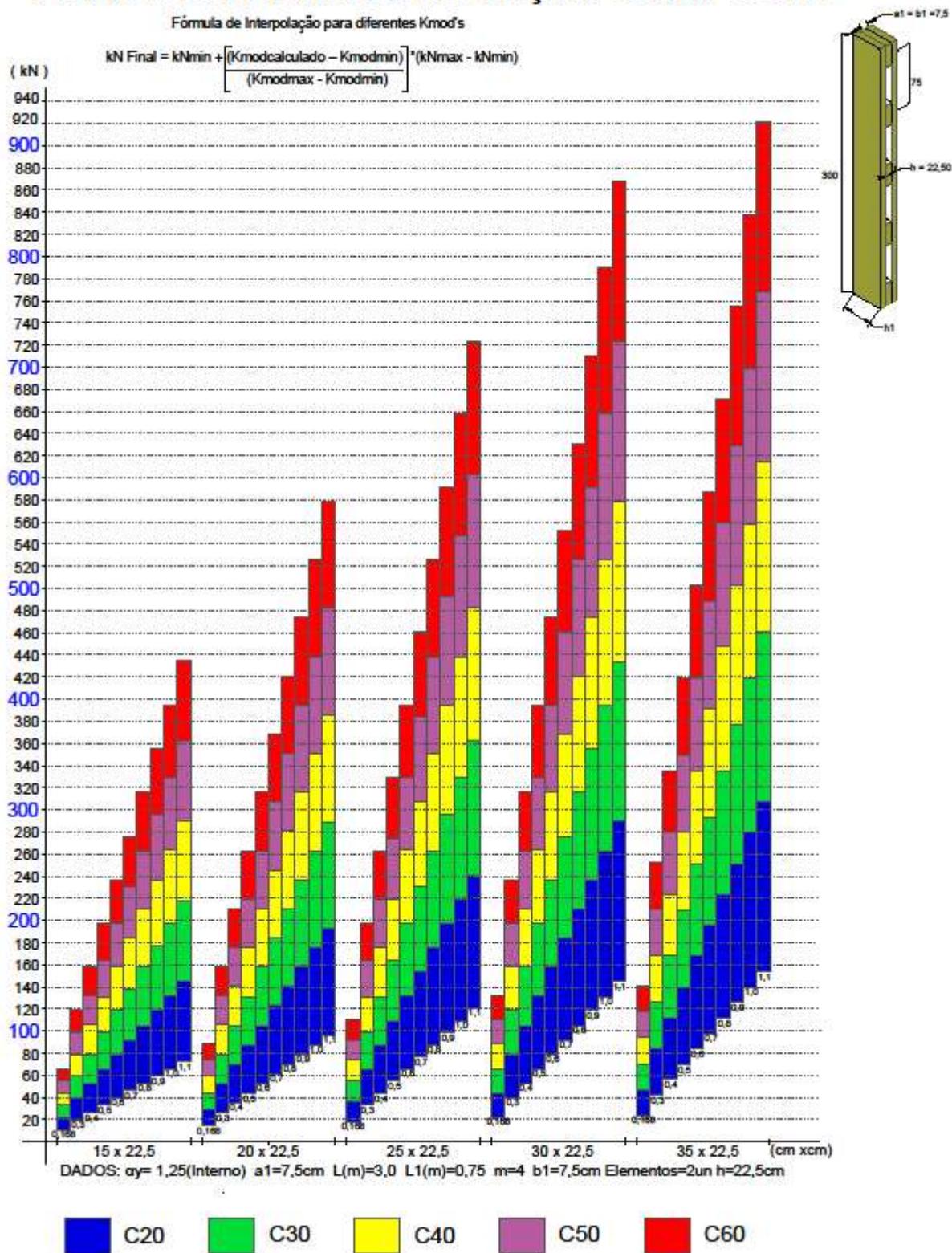
Fonte: Autoria própria (2019) .

Figura 39 – Ábaco 06 para impressão em A4

ÁBACO DE PILARES DE SEÇÃO COMPOSTA

Fórmula de Interpolação para diferentes K_{mod} 's

$$kN \text{ Final} = kN_{min} + \left[\frac{(K_{mod\text{calculado}} - K_{modmin})}{(K_{modmax} - K_{modmin})} \right] \cdot (kN_{max} - kN_{min})$$

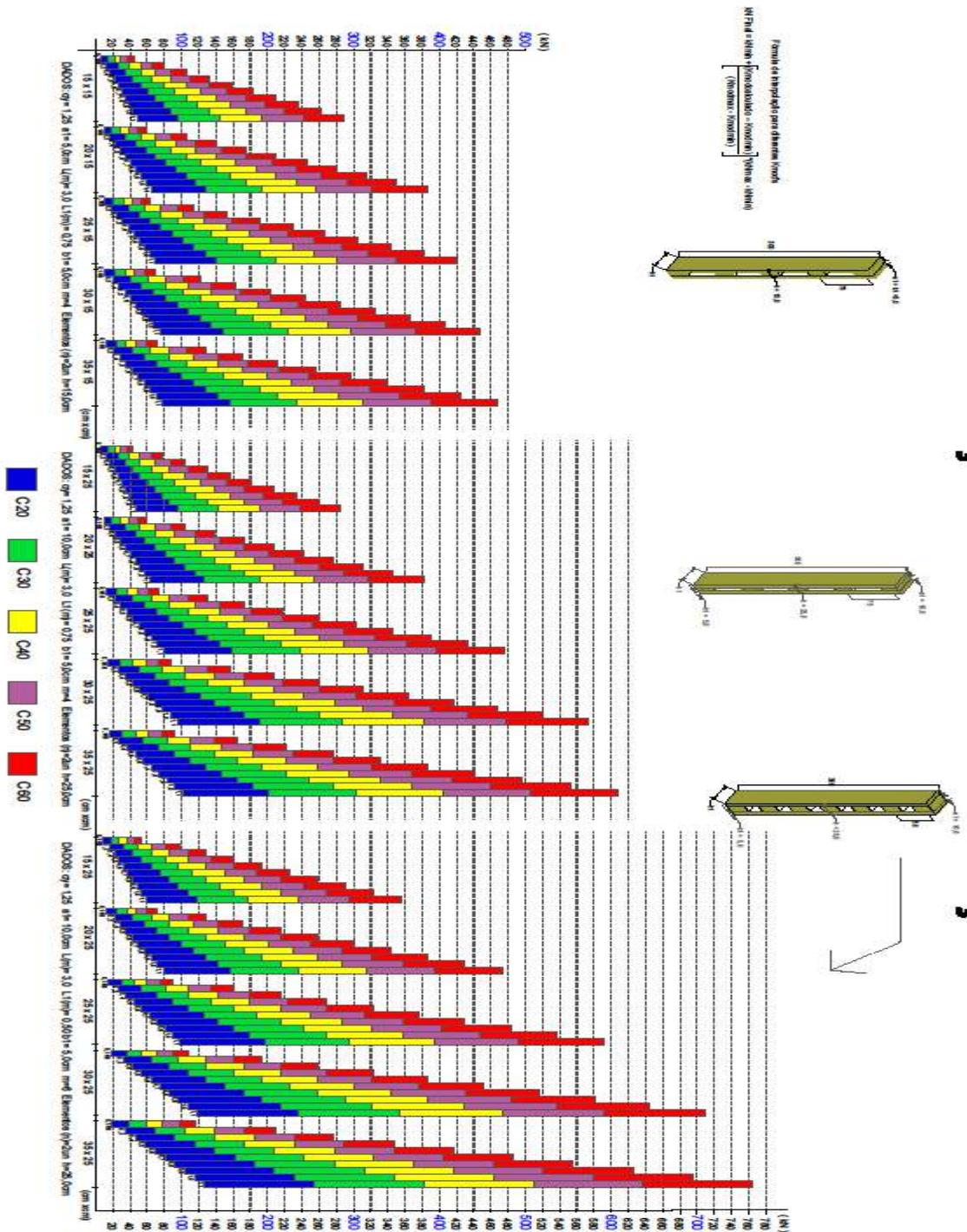


Fonte: Autoria própria (2019).

APÊNDICE E – ÁBACOS PARA IMPRESSÃO: COMPARAÇÕES

Figura 40 – Ábaco de comparação para impressão em A3 – 01, 02 e 03

ÁBACO DE COMPARAÇÃO DE PILARES SEÇÃO COMPOSTA

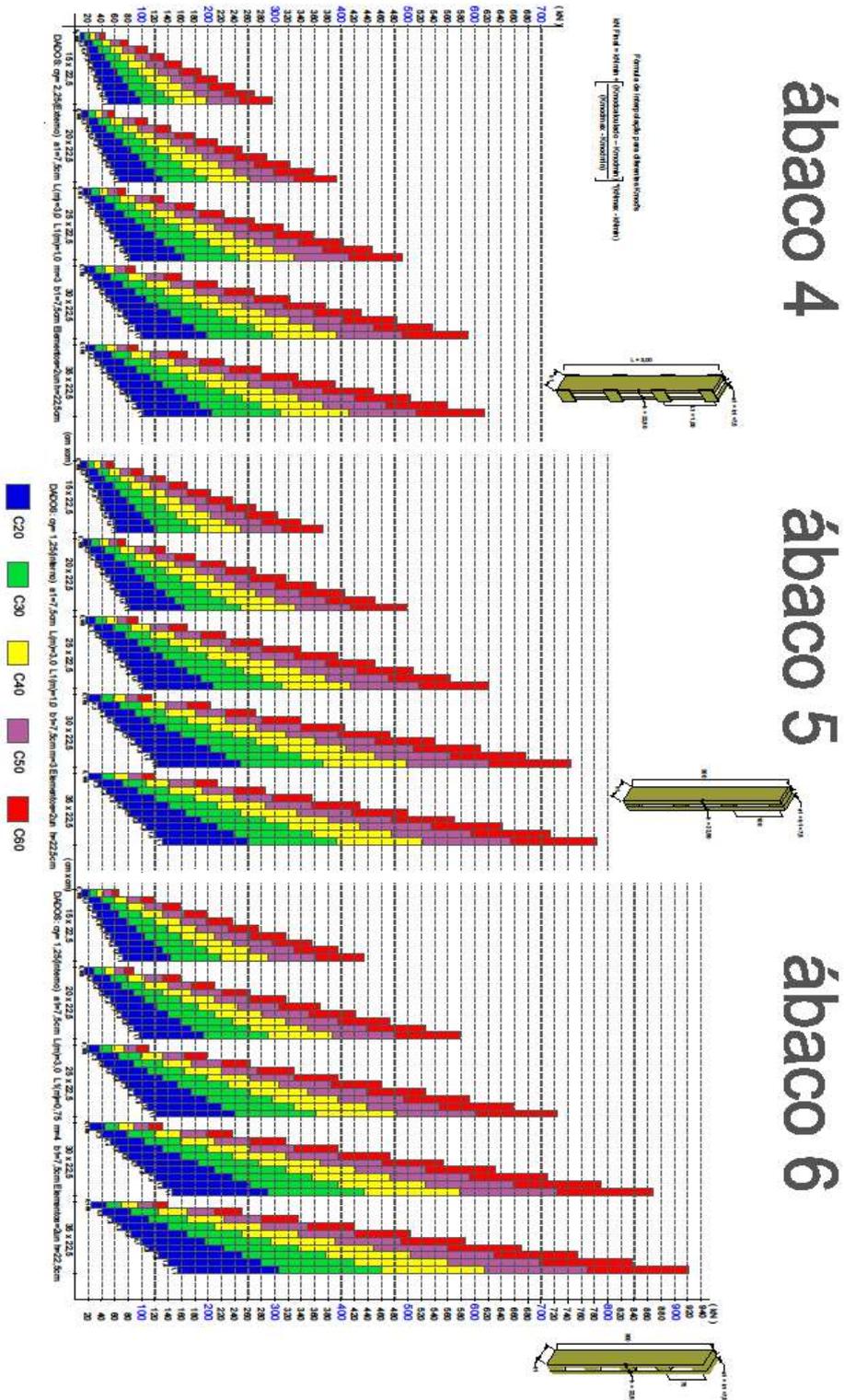


Fonte: Autoria própria (2019)

Clicando com o botão direito do mouse, é possível abrir o arquivo em .pdf e imprimir em folha A3.

Figura 41 – Ábaco de comparação para impressão em A3 – 04, 05 e 06

ÁBACO DE COMPARAÇÃO DE PILARES SEÇÃO COMPOSTA



Fonte: Autoria própria (2019)

Clicando com o botão direito do mouse, é possível abrir o arquivo em .pdf e imprimir em folha A3.

ANEXOS**Planilha para dimensionamento de pilares de madeira de seção composta.**

Disponível em:

<https://drive.google.com/drive/folders/1feBMowmk8AIPSigvSbQzqIZ45sD0KuHu?usp=sharing>

Ábacos para pré-dimensionamento

Disponível em:

<https://drive.google.com/drive/folders/1feBMowmk8AIPSigvSbQzqIZ45sD0KuHu?usp=sharing>