



FACULDADE DE CIÊNCIAS GERENCIAIS DE MANHUAÇU

PROJETO DE ESCORAMENTO EM MADEIRA PARA LAJE

Meire Borges Henrique

Manhuaçu/MG

2017



MEIRE BORGES HENRIQUE

PROJETO DE ESCORAMENTO EM MADEIRA PARA LAJE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no
Curso de Superior de Engenharia Civil da
Faculdade de Ciências Gerenciais de Manhuaçu,
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Estruturas
Orientador(a): Carlos Henrique Carvalho Júnior

Manhuaçu/MG

2017



MEIRE BORGES HENRIQUE

PROJETO DE ESCORAMENTO EM MADEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Superior de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências Gerenciais de Manhuaçu, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Estruturas
Orientador(a): Carlos Henrique Carvalho Júnior

Banca Examinadora

Data de Aprovação: 04 de dezembro de 2017

Especialista Carlos Henrique Carvalho Júnior; FACIG.

Especialista Leandro José Lima; FACIG.

Mestre Tauana de Oliveira Batista; FACIG.

MANHUAÇU / MG

2017



AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, primeiramente por ser meu sustento. Aos meus pais, pelo total apoio e amor incondicional. À minha irmã e à minha avó, obrigada por serem tão compreensivas. Aos meus amigos, obrigada por todo apoio ao longo desses 5 anos. Aos mestres, meu muito obrigada por todos os ensinamentos. Enfim, obrigada!

RESUMO

No Brasil a construção civil utiliza em larga escala o concreto armado, este que necessita de fôrma. Portanto, viu-se a necessidade de realizar o projeto de escoramentos e fôrmas a fim de otimizar os custos e a qualidade da obra. O objetivo do presente trabalho foi dimensionar o escoramento de uma laje e comparar os espaçamentos calculados com os estipulados pelo mestre de obra. O método de cálculo realizado no presente trabalho foi baseado na NBR 15696/2009, que trata do projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. Comparando o quantitativo calculado de escoras com o estimado pelo mestre de obras, vimos que adotando o calculado haveria uma economia de 37,43%. Assim conclui-se que em relação à segurança estrutural, ambos são seguros, porém ao adotar o espaçamento calculado facilitará a movimentação dos trabalhadores na obra e o custo com o escoramento será menor do que sem a realização do projeto.

Palavras-chave: Dimensionamento do escoramento; Norma; Escoras.

ABSTRACT

In Brazil civil construction uses large-scale reinforced concrete, this one requires baking pan. Therefore, the need to perform the shoring project and forms in order to optimize the costs and the quality of the work. The objective of this study was to scale the shoring of a slab and compare the calculated spacings with those stipulated by the master. The method of calculation performed in this work was based on NBR 15696/2009, which deals with design, dimensioning and executive procedures. Comparing the amount calculated in anchors with the estimated by the master builder, we saw that adopting calculated there would be a savings of 37.43%. So in conclusion, with regard to structural safety, both are safe, but by adopting the spacing calculated will facilitate the movement of workers in the work and the cost with the brace will be lower than without the realization of the project.

Keywords: scaling of the shoring; Standard; Anchors.

SÍMBOLOS

A – área
a – largura do compensado
 $A_{\text{influência}}$ – Área de influência na escora lateral
 $A_{\text{influência1}}$ – Área de influência na escora lateral-central
 $A_{\text{influência2}}$ – Área de influência na escora central
b – Espessura
d – diâmetro
E – Modulo de resistência da elasticidade
 f_{cod} – resistência de calculo
 f_{cok} – resistência característica
 F_f – Peso da forma
g – Peso da laje
i – Raio de giração
I – Momento de inércia
J – Momento de Inércia
 k_{mod} – módulo de resistência
L – Vão do compensado determinado através do momento admissível
 l_1 – Vão determinado através da flecha admissível
 l_2 – Vão da viga determinado através da flecha admissível
 L_{fl} – comprimento de flambagem
 l_{max} – Vão da viga determinado pelo momento admissível
 M_d – Momento Admissível
 M_r – Momento de resistência do compensado
 M_{r1} – Momento de resistência da viga HT20
 M_{r2} – Momento de resistência da viga HT20
 P_{cr} – Carga crítica
 P_d – carga distribuída na viga
 P_f – carga da forma
 P_k – carga permanente da laje
 P_s – carga acidental da laje
q – Peso total da laje
 q_{acid} – Peso acidental
r – raio
W – Módulo de resistência
 λ – Índice de esbeltez
 λ_c – Índice de esbeltez intermediário
 σ – Tensão admissível

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	9
2.1.1. Conceito	9
2.1.2. Tipos de Fôrmas e Escoramentos.....	10
2.1.3. Requisitos e critérios para os projetos de escoramento e fôrmas	10
2.1.4. Método de Cálculo para fôrma e escoramento de madeira para laje	11
2.1.4.1. Estados Limites-últimos	11
2.1.4.2. Estados limites de utilização	11
2.1.4.3. Cálculo do Escoramento	12
2.2. ESTUDO DE CASO	12
2.2.1 Dimensionamento do escoramento	13
2.2.1.2 Calculo da laje maciça.....	14
2.2.1.2.1 Levantamento das cargas atuantes da laje maciça.....	14
2.2.1.2.2 Calculo do vão máximo do Compensado.....	14
2.2.1.2.3 Calculo do vão máximo da Viga Secundária	14
2.2.1.3 Calculo da laje nervurada	16
2.2.1.3.1 Levantamento das cargas atuantes da laje nervurada.....	16
2.2.1.3.2 Calculo do vão máximo do Compensado.....	16
2.2.1.3.3 Calculo do vão máximo da Viga Secundária	17
2.2.1.3.4 Cálculo do vão máximo da viga primária.....	17
2.2.1.4 Escoramento	18
2.2.1.4.1 Cargas na área de influência.....	18
2.2.1.4.2 Carga Crítica (Pcr)	18
2.3 DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	19
4. REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA.....	22
ANEXO – POSICIONAMENTO DAS VIGAS PRIMÁRIAS, SECUNDÁRIAS E DAS ESCORAS.....	24

FIGURAS

FIGURA 1 - Subsistema de fôrmas para laje	10
FIGURA 2 - Esquema de deformação aplicada em função da distância entre apoios	12
FIGURA 3- VIGA HT20	13
FIGURA 4 - ÁREA DE INFLUÊNCIA.....	18
FIGURA 5 - DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS PRIMÁRIAS, SECUNDÁRIAS E DAS ESCORAS	20

1. INTRODUÇÃO

No Brasil a construção civil utiliza em larga escala o concreto armado, este que necessita de fôrma, a qual, segundo ASSAHI (2005, apud SILVA 2016), constitui, em uma edificação de médio porte, cerca de 25% a 40% do orçamento da estrutura de uma obra e 5% a 8% da obra total. Portanto, viu-se a necessidade de realizar o projeto de escoramentos e fôrmas a fim de otimizar os custos e a qualidade da obra.

Segundo Maranhão (2000), é comum a execução das fôrmas pelos mestres de obras e encarregados de carpintaria sem um projeto, com isto as fôrmas acabam sendo executadas sem o necessário estudo racional de economia, sem verificação de resistência ou de formabilidade e sem análise da facilidade de desforma para futuro reaproveitamento.

Cabe ressaltar que o projeto de escoramentos e fôrmas para estruturas de concreto está previsto na ABNT NBR 15696, com orientação sobre projeto, dimensionamento e procedimentos executivos.

Se as fôrmas não forem elaboradas conforme as normas, podem gerar patologias na obra. Maranhão (2000) cita em seu trabalho as seguintes irregularidades superficiais devido as fôrmas, que são elas: cavidades, ondulações devidas à cavidade na superfície da fôrma, destacamentos, ataques por desmoldantes não adequados e oxidação de armaduras superficiais que podem degenerar em destacamentos, além de deformações por deficiência no alinhamento da fôrma, falta de retilinidade ou desaprumo das fôrmas e deformação da fôrma sob carga do concreto fresco.

A partir do exposto, o presente trabalho objetiva-se dimensionar o escoramento de uma laje e comparar os espaçamentos calculados com os estipulados pelo mestre de obra.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

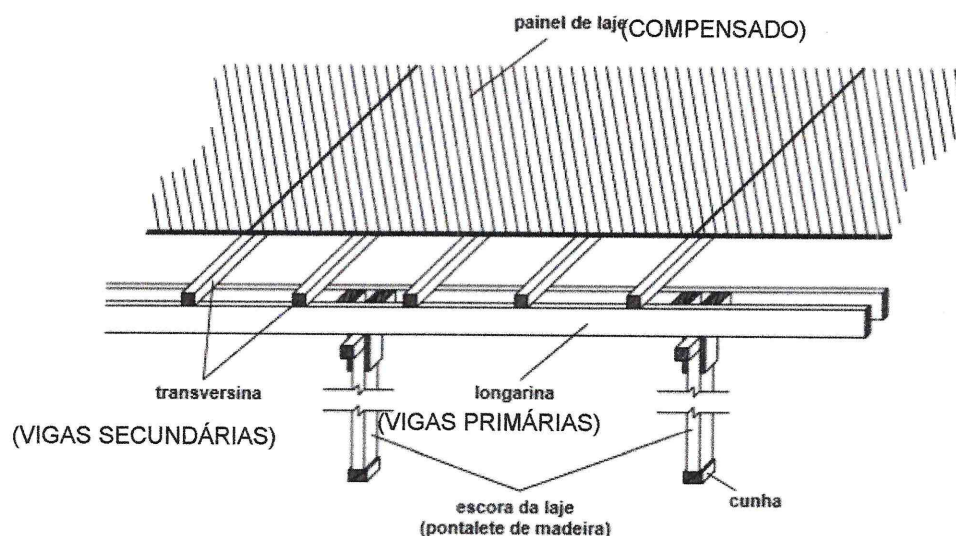
2.1.1. Conceito

As fôrmas e o escoramentos servem para moldar as estruturas de concreto, estas que devem ser bem elaboradas a fim de evitar futuras patologias na obra.

Segundo a NBR 15696, os escoramentos são estruturas provisórias capazes de resistir e transmitir às bases de apoio da estrutura do escoramento todas as ações das cargas permanentes e variáveis resultantes do lançamento do concreto frescos sobre as fôrmas, até que o concreto se torne autoportante. Já as formas, segundo a NBR 15696, são estruturas provisórias que servem para moldar o concreto, além de suportar as ações das cargas variáveis do concreto, até que ele se torne autoportante.

No escoramento, temos o compensado, as vigas secundárias(barrotes) e vigas primárias, como podemos ver na figura 1.

FIGURA 1 - Subsistema de fôrmas para laje



Fonte: Maranhão (2000)

2.1.2. Tipos de Fôrmas e Escoramentos

Segundo a norma (NBR 15696), os escoramentos e fôrmas podem ser: madeira, elementos metálicos (aço ou alumínio), plásticos, placas de madeira e outros compostos. Porém, as fôrmas de madeira são as mais utilizadas, segundo DENGUE UEPG (2011, apud SILVA, 2016), devido a utilização de mão-de-obra de treinamento relativamente fácil. Já os escoramentos geralmente, segundo Silva (2016), são de madeira ou metálica.

Os tipos de madeiras utilizadas para o escoramento, segundo Magnagnagno (2014), são de eucalipto ou bragatinga, estes devem ser inteiros, e caso seja necessário emendas, estas devem seguir as normas estabelecidas na NBR-15.696, além disto,

As escoras deverão ser apoiadas sobre calços de madeira assentados sobre terra apiloada ou sobre contrapiso de concreto, ficando uma pequena folga entre a escora e o calço para a introdução de cunhas de madeira [...] (MAGNAGNAGNO, 2014, 32)

Já o escoramento metálico, segundo Magnagnagno (2014), pode ser: *“escora tubular extensível com ajuste telescópico de 15 cm e intermediário com rosca, torre de andaime modular e acessórios como sapatas ajustáveis ou fixas, diagonais de travamento e suportes”*.

2.1.3. Requisitos e critérios para os projetos de escoramento e fôrmas

A NBR 15696 estabelece como requisitos para os projetos de escoramento e fôrmas definição clara e exata do posicionamento de todos os elementos e detalhamento com plantas, cortes, vistas e demais detalhes, de tal forma que não fiquem dúvidas para a correta execução da montagem, sendo que os projetos de escoramentos devem especificar as cargas admissíveis dos equipamentos utilizados e definir as cargas nas bases de apoio, já os projetos de fôrmas devem especificar

os materiais utilizado e mencionar os critérios adotados para o dimensionamento da fôrma.

Os critérios adotados para o dimensionamento da fôrma, segundo a NBR 15696, são: pressão do concreto, a velocidade de lançamento, altura de concretagem e de vibração, consistência do concreto, metodologia de lançamento etc.

2.1.4. Método de Cálculo para fôrma e escoramento de madeira para laje

De acordo com a NBR 15.696, o cálculo de resistência deve ser feito pelo método dos estados-limites últimos ou de utilização.

2.1.4.1. Estados Limites-últimos

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_w}$$

R_k = é a resistência característica do material

γ_w = é coeficiente de ponderação do material

Apesar das fôrmas e escoramentos serem provisórias, a norma estabeleceu as combinações de cargas provenientes de construções normais, sendo assim a fórmula para encontrar o valor de cálculo da ação, é a seguinte:

$$F_d = \gamma Q [F_{q1,k} + \sum_{j=2}^n (\Psi_{0j,ef} \cdot F_{qj,k})]$$

$F_{Qi,k}$ representa o valor característico da ação variável considerada como principal para a situação transitória; $\Psi_{0j,ef}$ é igual ao fator Ψ_{0j} adotado nas combinações normais e tomado como 1,0 e $\gamma_a = 1,4$, ou seja:

$$F_d = 1,4 \cdot \sum_{j=1}^n F_{Qj,k}$$

2.1.4.2 Estados limites de utilização

De acordo com a NBR 15.696, são estados que geram efeitos incompatíveis com as condições de uso da estrutura, tais como: deslocamentos excessivos, vibrações e deformações permanentes.

Sendo que a flecha máxima deve ser menor que a deformação-limite, sendo a deformação limite dada por essa equação:

$$U_{lim} = 1 + \frac{L}{500}$$

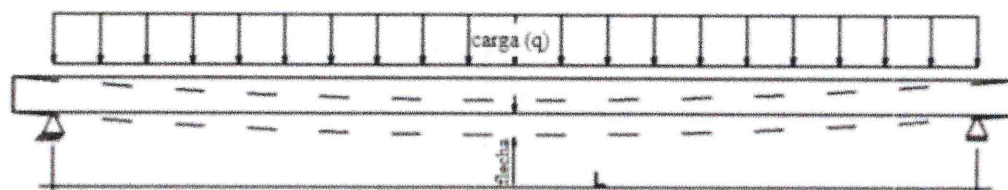
E a flecha máxima por essa equação:

$$U_{total} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

Sendo L , a distância entre os apoios de cada elemento estrutural do escoramento ou fôrma estudada, conforme Figura 2, dada em milímetros.

Porém, cabe ressaltar que podemos utilizar a deformação-limite preconizada pela NBR 6118/2014, $U_{lim} = l/350$.

FIGURA 2 - Esquema de deformação aplicada em função da distância entre apoios



FONTE: NBR 15.696/2009

2.1.4.3 Cálculo do Escoramento

Silva (2016), utilizou o cálculo da carga crítica para a verificar se a escora suportaria o peso da laje. A carga crítica, segundo Hibbeler (2004), é a carga axial máxima que uma coluna pode suportar quando está no limite da flambagem. Flambagem é a deflexão lateral sofrida por elementos comprimidos e esbeltos quando estão sujeitos a uma força axial de compressão. Assim pela formula de Euler, podemos obter a carga crítica:

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A}{\lambda^2}$$

Sendo que:

E = Modulo de Elasticidade do material;

A= Momento de Inércia (depende da geometria).

λ = Índice de Esbeltez (L_f (comprimento de flambagem)/ i (raio de giração))

A carga da laje aplicada em cada escora deve ser menor que a carga crítica. Cabe ressaltar, que de acordo com Moraes(2015), adota-se o fator de correção de 0,25 nesta formula, devido a nossa peça ser esbelta, esta metodologia também está descrita na NB 11/1951.

2.2 ESTUDO DE CASO

O trabalho tem como metodologia a verificação das vantagens do dimensionamento das estruturas provisórias, mais especificamente o escoramento, a partir dos quantitativos estimados pelo engenheiro e a estimava realizada pelo mestre de obra responsável pela obra.

Será verificado o escoramento da laje do pavimento térreo do edifício da Clínica Médica da Faculdade de Ciências Gerenciais de Manhuaçu (FACIG), com área total de laje de 501 m² e pé direito de altura 3,60 metros, situado na cidade de Manhuaçu/MG. Considerando o escoramento da laje todo em madeira, sendo o compensado de espessura 14 mm, será proposto um projeto todo em madeira devido a disponibilidade na região para posteriormente a comparação.

No presente trabalho consideramos a viga HT20 como viga primária e também viga secundária.

Os cálculos para o dimensionamento destas estruturas serão embasados no estados-limites de utilização de acordo com as normas NBR 15.696/2009, NBR

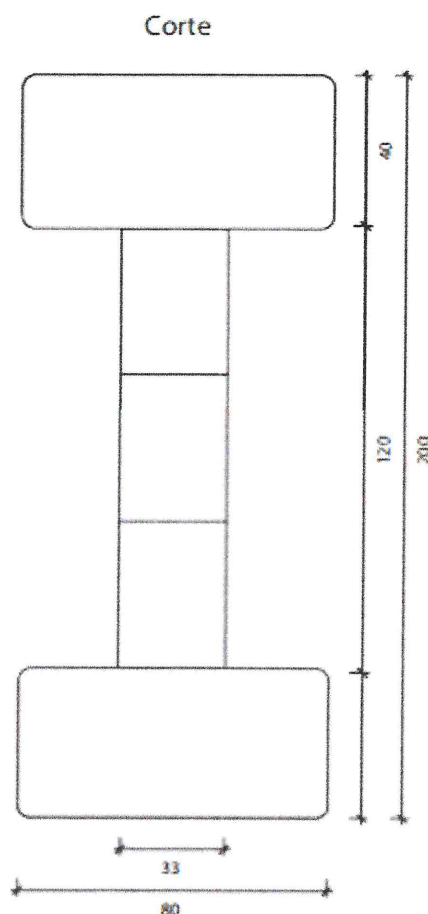
7190/1997 e NBR 6118/2014 e o custo das escoras no SINAPI referente ao mês de outubro de 2017.

2.2.1 Dimensionamento do escoramento

Os vãos admissíveis para o compensado, viga secundária e viga primária foram determinados através dos cálculos do momento fletor admissível e flecha admissível, considerando como vão o menor valor entre estes cálculos.

O presente trabalho usou como viga secundária e primária a HT20, pois segundo Mesquita (2013), este tipo de viga é fácil montar e manusear, além de serem mais leves que as metálicas.

FIGURA 3- VIGA HT20 Dimensões(mm)



Fonte: CGSISTEMAS.

O vão encontrado para o compensado, a viga secundária e a viga primária, será determinante para o espaçamento das vigas secundárias, vigas primárias e escoras, respectivamente.

Enfim, os cálculos foram realizados no software Mathcad, afim de tornar mais ágil. Nas próximas páginas está o memorial de cálculo realizado no software.

2.2.1.2 Calculo da laje maciça

2.2.1.2.1 Levantamento das cargas atuantes da laje maciça

Peso da laje $g = 300 \text{ kg/m}^2$

Peso accidental $q_{\text{acid}} = 200 \text{ kg/m}^2$

Peso da forma $F_f = 50 \text{ kg/m}^2$

Peso total da laje $q = g + q_{\text{acid}} + F_f = 550 \text{ kg/m}^2$

2.2.1.2.2 Calculo do vão máximo do Compensado

$a = 1.0 \text{ m}$

$b = 0.014 \text{ m}$ – Espessura do compensado

- Característica geométrica da seção

$$W = \frac{a \cdot b^2}{6} = 32.667 \text{ cm}^3$$

- Cálculo do M_r compensado

$$\sigma = 87.00 \text{ kg/cm}^2 \quad q = 550 \text{ kg/m}^2 \quad E = 63483 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_r = \sigma \cdot W = 28.42 \text{ kg.m}$$

- Cálculo do comprimento máximo pelo $M_d \leq M_r$

$$M_d = \frac{(q \cdot L^2)}{8} \leq M_r$$

$$L = \sqrt{\frac{M_r \cdot 8}{q \cdot 1}} = 0.643 \text{ m}$$

Pelo momento o espaçamento máximo do barrote é de 64.3 cm

- Cálculo da flecha

$$J = \frac{(a \cdot b^3)}{12} = 22.867 \text{ cm}^4$$

$$l_1 = \sqrt[3]{\frac{384 \cdot E \cdot J}{350.5 \cdot q}} = 0.387 \text{ m}$$

Portanto, a flecha limita o espaçamento da Viga Secundária em 38,7 centímetros.

2.2.1.2.3 Calculo do vão máximo da Viga Secundária

- Cálculo da carga distribuída na Viga Secundária

$$Esp_{\text{laje}} = 0.12 \text{ m} \quad P_{\text{conc.}} = 2500 \text{ kg/m}^3$$

Área de influência da Viga Secundária

$$P_k = l_1 \cdot \text{Esp}_{\text{laje}} \cdot P_{\text{conc.}} = 116.07 \text{ kg/m}$$

$$P_s = l_1 \cdot q_{\text{acid}} = 77.38 \text{ kg/m}$$

$$P_f = l_1 \cdot F_f = 19.345 \text{ kg/m}$$

$$P_d = P_k + P_s + P_f = 212.794 \text{ kg/m}$$

- **Cálculo do comprimento máximo pelo $M_d \leq M_r$**

Viga adotada HT20

$$M_{r1} = 500 \text{ kg.m}$$

M_d viga isostática bi-apoiada com carga distribuída

$$l_{\text{max}} = \sqrt{\frac{M_{r1} \cdot 8}{P_d}} = 4.336 \text{ m}$$

- **Cálculo da flecha**

$$E_v = 100000 \text{ kg/cm}^2 \quad J_v = 4613 \text{ cm}^4$$

$$l_2 = \sqrt{\frac{384 \cdot E_v \cdot J_v}{350.5 \cdot P_d}} = 3.623 \text{ m}$$

Portanto, a flecha limita o espaçamento da Viga Primária em 3,623 metros.

2.2.1.2.4 Cálculo do vão máximo da viga primária

- **Cálculo da carga distribuída na Viga Primária**

$$\text{Esp}_{\text{laje}} = 0.12 \text{ m} \quad P_{\text{conc.}} = 2500 \text{ kg/m}^3$$

Área de influência da Viga Primária

$$P_k = l_2 \cdot \text{Esp}_{\text{laje}} \cdot P_{\text{conc.}} = 1087 \text{ kg/m}$$

$$P_s = l_2 \cdot q_{\text{acid}} = 724.662 \text{ kg/m}$$

$$P_f = l_2 \cdot F_f = 181.166 \text{ kg/m}$$

$$P_d = P_k + P_s + P_f = 1993 \text{ kg/m}$$

- **Cálculo do comprimento máximo pelo $M_d \leq M_r$**

Viga adotada HT20

$$M_{r2} = 500 \text{ kg.m}$$

M_d viga isostática bi-apoiada com carga distribuída

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{Mr_{2.8}}{Pd}} = 1.417 \text{ m}$$

- **Cálculo da flecha**

$$E_v = 100000 \text{ kg/cm}^2 \quad J_v = 4613 \text{ cm}^4$$

$$l_2 = \sqrt{\frac{384 \cdot E_v \cdot J_v}{350.5 \cdot Pd}} = 1.719 \text{ m}$$

Portanto, o momento admissível limita o espaçamento da escora em 1,417 metros.

2.2.1.3 Cálculo da laje nervurada

2.2.1.3.1 Levantamento das cargas atuantes da laje nervurada

$$\text{Peso da laje } g = 412 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Peso acidental } q_{\text{acid}} = 300 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Peso da forma } F_f = 50 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Peso total da laje } q = g + q_{\text{acid}} + F_f = 762 \text{ kg/m}^2$$

2.2.1.3.2 Cálculo do vão máximo do Compensado

$$a = 1.0 \text{ m}$$

$$b = 0.014 \text{ m} - \text{Espessura do compensado}$$

- **Característica geométrica da seção**

$$W = \frac{a \cdot b^2}{6} = 32.667 \text{ cm}^3$$

- **Cálculo do Mr compensado**

$$\sigma = 87.00 \text{ kg/cm}^2 \quad q = 762 \text{ kg/m}^2 \quad E = 63483 \text{ kg/cm}^2$$

$$Mr = \sigma \cdot W = 28.42 \text{ kg.m}$$

- **Cálculo do comprimento máximo pelo $M_d \leq M_r$**

$$M_d = \frac{(q \cdot L^2)}{8} \leq M_r$$

$$L = \sqrt{\frac{Mr_{2.8}}{q \cdot 1}} = 0.546 \text{ m}$$

Pelo momento o espaçamento máximo do barrote é de 54.6 cm

- **Cálculo da flecha**

$$J = \frac{(a \cdot b^3)}{12} = 22.867 \text{ cm}^4$$

$$l_1 = \sqrt[3]{\frac{384.E.J}{350.5.q}} = 0.347 \text{ m}$$

Portanto, a flecha limita o espaçamento da Viga Secundária em 34,7 centímetros.

2.2.1.3.3 Cálculo do vão máximo da Viga Secundária

- **Cálculo da carga distribuída na Viga Secundária**

$$\text{Esp}_{\text{laje}} = 0.14 \text{ m} \quad P_{\text{conc.}} = 2500 \text{ kg/m}^3$$

Área de influência da Viga Secundária

$$P_k = l_1 \cdot \text{Esp}_{\text{laje}} \cdot P_{\text{conc.}} = 121,47 \text{ kg/m}$$

$$P_s = l_1 \cdot q_{\text{acid}} = 104,117 \text{ kg/m}$$

$$P_f = l_1 \cdot F_f = 17,353 \text{ kg/m}$$

$$P_d = P_k + P_s + P_f = 242,939 \text{ kg/m}$$

- **Cálculo do comprimento máximo pelo $M_d \leq M_r$**

Viga adotada HT20

$$M_{r1} = 500 \text{ kg.m}$$

M_d viga isostática bi-apoiada com carga distribuída

$$l_{\text{max}} = \sqrt{\frac{M_{r1} \cdot 8}{P_d}} = 4,058 \text{ m}$$

- **Cálculo da flecha**

$$E_v = 100000 \text{ kg/cm}^2 \quad J_v = 4613 \text{ cm}^4$$

$$l_2 = \sqrt{\frac{384.E_v.J_v}{350.5.P_d}} = 3,467 \text{ m}$$

Portanto, a flecha limita o espaçamento da Viga Primária em 3,467 metros.

2.2.1.3.4 Cálculo do vão máximo da viga primária

- **Cálculo da carga distribuída na Viga Primária**

$$\text{Esp}_{\text{laje}} = 0.12 \text{ m} \quad P_{\text{conc.}} = 2500 \text{ kg/m}^3$$

Área de influência da Viga Primária

$$P_k = l_2 \cdot \text{Esp}_{\text{laje}} \cdot P_{\text{conc.}} = 1213 \text{ kg/m}$$

$$P_s = l_2 \cdot q_{\text{acid}} = 1040 \text{ kg/m}$$

$$P_f = l_2 \cdot F_f = 173,379 \text{ kg/m}$$

$$P_d = P_k + P_s + P_f = 2427 \text{ kg/m}$$

- **Cálculo do comprimento máximo pelo $M_d \leq M_r$**

Viga adotada HT20

$$M_{r2} = 500 \text{ kg.m}$$

M_d viga isostática bi-apoiada com carga distribuída

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{M_{r2} \cdot 8}{P_d}} = 1,284 \text{ m}$$

- **Cálculo da flecha**

$$E_v = 100000 \text{ kg/cm}^2 \quad J_v = 4613 \text{ cm}^4$$

$$l_2 = \sqrt{\frac{384 \cdot E_v \cdot J_v}{350,5 \cdot P_d}} = 1,61 \text{ m}$$

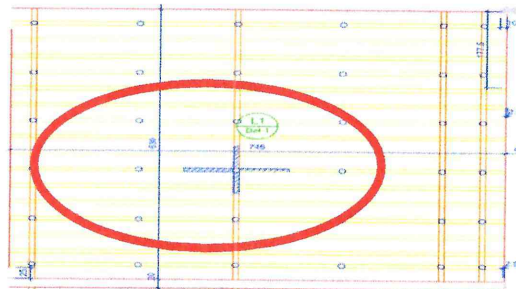
Portanto, o momento admissível limita o espaçamento da escora em 1,284 metros.

2.2.1.4 Escoramento

2.2.1.4.1 Cargas na área de influência

$$A_{\text{influência}} = 1,5 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} \times q = 1143 \text{ kg}$$

FIGURA 4 - ÁREA DE INFLUÊNCIA



2.2.1.4.2 Carga Crítica (Pcr)

$$L_{ef} = 3,60 \text{ m} \quad r = 0,05 \text{ m} \quad d = 0,10 \text{ m} \quad f_{cok} = 40 \text{ Mpa} \times 0,70 = 2,8 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$A = \pi \cdot r^2 = 0,008 \text{ m}^2$$

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

$$k_{mod2} = 0,8$$

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

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = 4,909 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot k_{mod3} = 0,448$$

$$E_{\text{eucalipto}} = 12813 \text{ Mpa}$$

$$f_{cod} = k_{mod} \cdot \frac{f_{cok}}{1,4} = 8,96 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = 0,025 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{L_{fl}}{i} = 144$$

$$\lambda_c = \pi \cdot \sqrt{3 \cdot \frac{E_{eucalipto}}{8 \cdot f_{cod}}} = 72,751$$

$$\sigma = \frac{2}{3} \cdot f_{cod} = 5,973 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_{eucalipto} \cdot A}{\lambda^2} \cdot 0,25 = 1,197 \cdot 10^4 \text{ N} = 1197 \text{ kg}$$

2.3 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Foram dimensionadas as vigas secundárias e primárias, para que assim fosse possível saber onde as escoras deveriam ser posicionadas.

As vigas secundárias, conhecidas também como viga de barroteamento, são colocadas abaixo do compensado. Serve de apoio ao compensado e apresentando a função principal de evitar deformações exageradas que possam influenciar nas características geométricas da peça a ser concretada. As vigas principais são responsáveis por receber o peso do concreto junto com o peso das vigas secundárias e do compensado. Por isso o motivo de serem mais espessas e maiores. São localizadas perpendicularmente abaixo das vigas de barroteamento servindo de apoio para as mesmas. (Ferreira e Menezes, 2012 apud Tonello, 2014)

Através dos cálculos do momento fletor admissível e da flecha admissível, adota-se o menor vão.

TABELA 1- ESPAÇAMENTO MÁXIMO ENTRE AS VIGAS E ENTRE AS ESCORAS
ESPAÇAMENTO MÁXIMO ENTRE AS VIGAS

	Laje Maciça	Laje Nervurada
Vigas principais HT20	3,623 metros	3,467 metros
Vigas secundárias HT20	0,387 metros	0,347 metros

ESPAÇAMENTO MÁXIMO ENTRE AS ESCORAS NA VIGA PRIMÁRIA

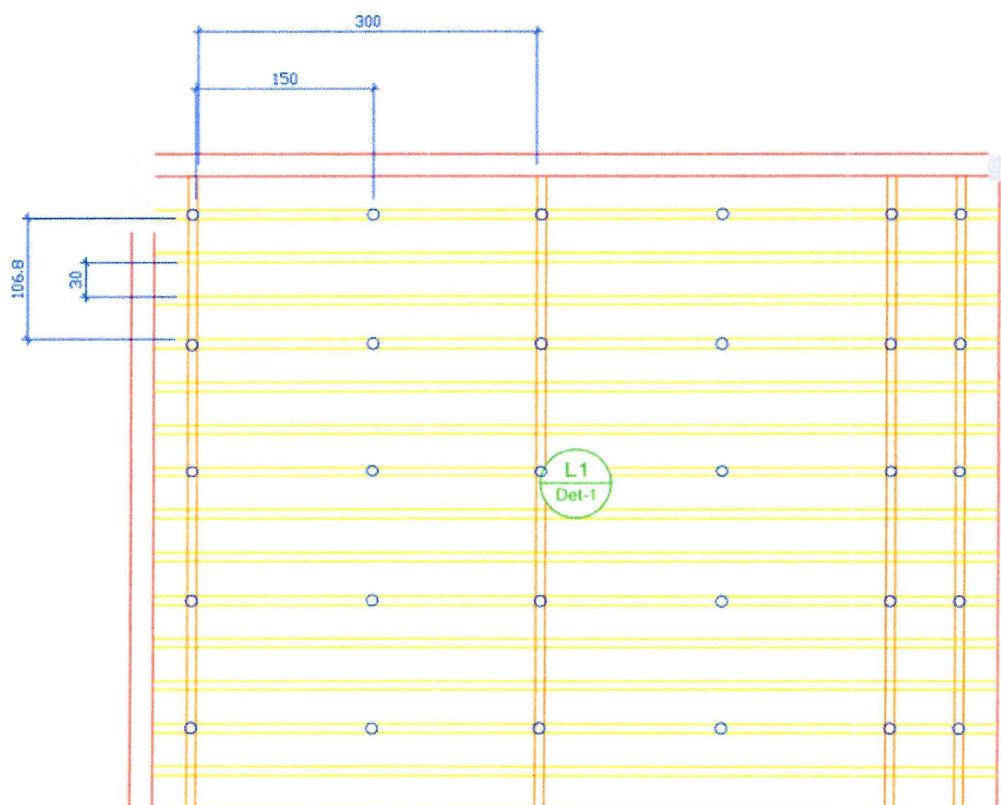
	Laje Maciça	Laje Nervurada
Escora em madeira	1,417 metros	1,284 metros

Fonte: O autor, 2017.

Sendo assim, a fim de facilitar no canteiro de obras, iremos adotar valores iguais para as lajes maciças e nervuradas, onde as vigas principais e secundárias terão as distâncias de 3 metros e 30 centímetros, respectivamente. Através destes cálculos, o espaçamento entre as escoras seria de 1m x 3m. Cabe ressaltar, que houve arredondamento dos valores a fim de facilitar nos canteiros de obra.

Após a determinação dos espaçamentos, multiplica-se a área de influência pelo peso total da laje, para assim encontrar a carga que está sendo aplicada sobre cada escora e compararmos com a carga crítica da escora de *Eucalipto Grandis*. No caso do projeto, a carga crítica é de 1724 kg, sendo assim não seria possível a distância das escoras serem as mesmas das vigas, pois nossa carga aplicada na escora seria de 2286 kg, com isto adotamos o espaçamento máximo entre as escoras de 1 m x 1,5 m. (EM ANEXO A PLANTA COM OS DIMENSIONAMENTOS)

FIGURA 5 - DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS PRIMÁRIAS, SECUNDÁRIAS E DAS ESCORAS



Amarelo – Viga Secundária
Laranja – Viga Primária
Azul - Escora

Com esta distância entre as escoras, facilita o trabalho dos pedreiros e serventes, diminuindo assim riscos de acidente no trabalho.

A estimativa do mestre de obras sobre os espaçamentos foram: entre as escoras seriam de 1 m x 1 m; entre as vigas primárias 1 m; e entre os barrotes de 0,30 m.

TABELA 2 - ESPAÇAMENTO ESTIMADO X ESPAÇAMENTO CALCULADO

	Espaçamento estimado pelo mestre de obras	Espaçamento após calculado
Vigas secundárias (Barrote)	0,30 metros	0,30 metros
Vigas primárias	1,0 metro	3,0 metros
Escoras	1,0 x 1,0 metro	1,0 metro x 1,5 metros

Fonte: O autor, 2017.

Em relação à segurança estrutural, ambos são seguros, porém ao adotar o espaçamento calculado facilitará a movimentação dos trabalhadores na obra. Além de que o custo com o escoramento será menor do que sem a realização do projeto.

Tabela 3 - DADOS DO PROJETO

DADOS DO PROJETO				
LAJE	DIMENSÃO (METROS)	VIGA SECUNDÁRIA	VIGA PRIMÁRIA	ESCORAS
LAJE 1	7,45 X 6,30	16	4	36
LAJE 2	7,10 X 6,30	16	4	36
LAJE 3	4,25 X 6,30	16	3	24
LAJE 4	3,80 X 6,30	16	3	18
LAJE 5	7,55 X 5,85	15	4	36
LAJE 6	7,30 X 5,85	15	4	36
LAJE 7	4,25 X 5,85	15	3	24
LAJE 8	3,80 X 5,85	15	2	18
LAJE 9	7,55 X 4,75	12	4	30
LAJE 10	7,30 X 4,75	12	4	30
LAJE 11	4,75 X 4,35	12	3	20
LAJE 12	3,80 X 1,30	3	2	6
LAJE 13	1,95 X 1,30	3	2	4
LAJE 14	3,80 X 1,80	4	2	6
LAJE 15	7,55 X 4,60	12	4	36
LAJE 16	7,30 X 4,60	12	4	36
LAJE 17	4,35 X 4,60	12	3	24
LAJE 18	3,80 X 4,60	12	3	18
TOTAL		218	58	438

Fonte: O autor, 2017.

A estimativa de escoras realizada pelo mestre de obra foi de 700 escoras, sendo que através do cálculo realizado no presente trabalho foi verificado a necessidade de 438. Adotando o calculado, o custo com a aquisição de escoras, segundo o SINAPI de outubro de 2017, seria de R\$ 788,40, e com o quantitativo estimado pelo mestre de obras o custo seria R\$ 1260, com isto adotando o calculado a economia seria de 37,43%, isto somente em escoras.

E cabe ressaltar que as escoras deverão ser apoiadas em pranchas de madeiras visando a melhor distribuição das cargas, e durante a retirada do escoramento, segundo a NBR 15696/2009, a aplicação de esforços na estrutura deve ser lenta e gradual. Ainda segundo a norma, deve ser respeitada o tempo especificado no projeto para a retirada dos escoramentos e das fôrmas, afim de "impedir a livre movimentação de juntas de retração ou dilatação, bem como de articulações".

3. CONCLUSÃO

Para um projeto seguro faz-se necessário seguir as orientações da NBR15696/2009 para que seja possível o dimensionamento tanto do escoramento quanto das fôrmas, a fim de evitar possíveis patologias no concreto, tal como o colapso da estrutura.

Através deste estudo comparativo, pode-se concluir que apesar da estimativa do mestre de obras estar superdimensionada, poderia ter tido uma economia de 37,43% em relação ao custo da escora e também economia no quantitativo de vigas utilizadas. Além de proporcionar aos trabalhadores maiores garantias de segurança e facilidade para se locomoverem pela obra, visto que os espaçamentos calculados foram maiores do que os estimados.

4. REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

BRASIL. Agência Brasileira de Normas Técnicas. **Norma Brasileira 15696 – Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos**. Brasil, 2009.

BRASIL. Agência Brasileira de Normas Técnicas. **Norma Brasileira 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira**. Brasil, 1997.

BRASIL. Agência Brasileira de Normas Técnicas. **Norma Brasileira 6118 – Projeto de Estruturas de concreto**. Brasil, 2014.

HIBBELER, R.C. **Resistência dos materiais**/R.C. Hibbeler; tradução Joaquim Ribeiro Nunes, revisão técnica Wilson Carlos da Silva. – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

MAGNAGNAGNO, LUIZ CARLOS. **Análise entre os sistemas de fôrma e escoramento para execução de pilares e lajes na cidade de Curitiba** – pr. Disponível em <<http://tcconline.utp.br/media/tcc/2017/06/ANALISE-ENTRE-OS-SISTEMAS-DE-FORMA-E-ESCORAMENTO.pdf>>. Acesso em: 24 de outubro de 2017.

MARANHÃO, GEORGE MAGALHÃES. **Fôrmas para concreto: subsídios para a otimização do projeto segundo a nbr 7190/97**. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/2000ME_GeorgeMagalhaesMaranhao.pdf>. Acesso em: 15 de setembro de 2017.

MESQUITA, JONATAS FILIPE MARTINS. **Viabilidade de uso de peças “h20” como cimbramento em sistemas de formas**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10008117.pdf>>. Acesso em: 10 de outubro de 2017.

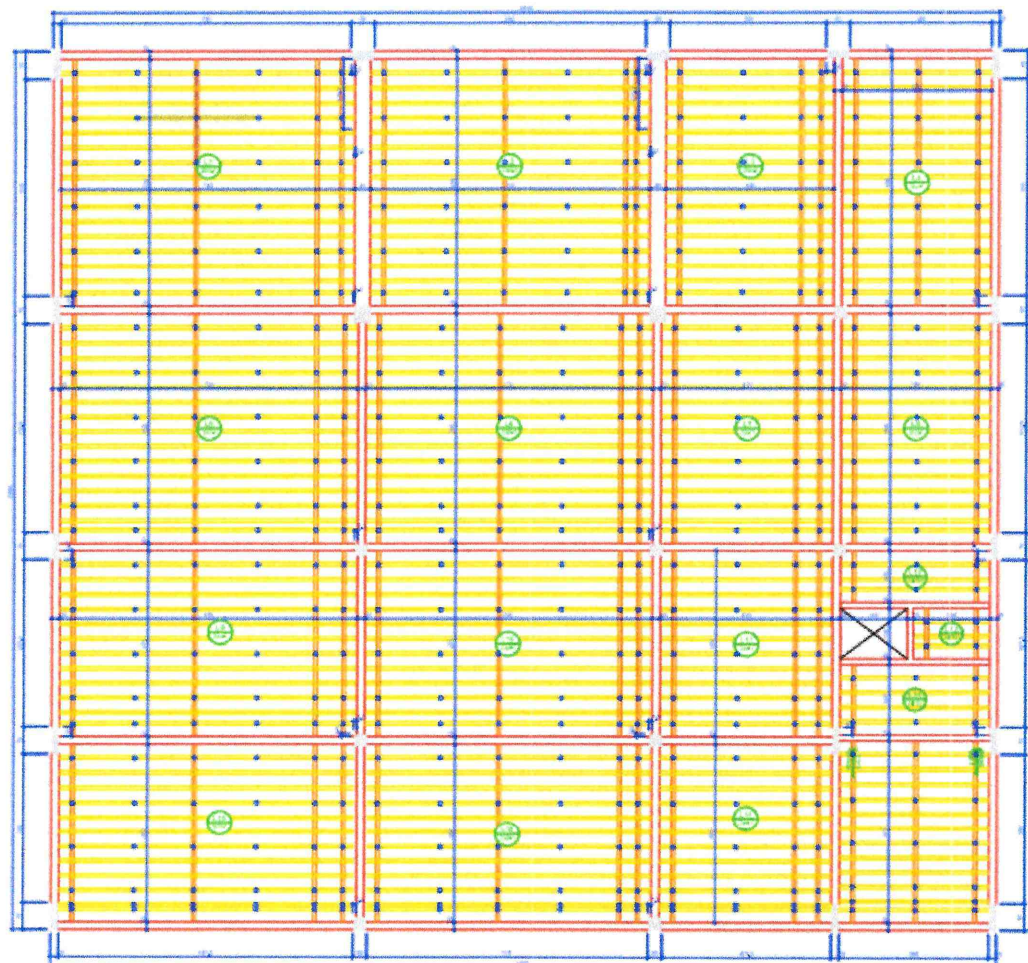
MORAES, MARCIO LUIZ VARELA NOGUEIRA DE. **Estruturas de Madeira 2 – Compressão**. Notas de Aula. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Rio Grande do Norte, 2015. Disponível em: <<http://docente.ifrn.edu.br/marciovarela/disciplinas/estruturas-metalica-e-madeira/estrutura-de-madeira/aula-3-compressao/view>> Acesso em: 25 de outubro de 2017.

TONELLO, REBECA ARAÚJO. **Dimensionamento de cimbramento metálico de uma laje**. Universidade Católica de Brasília. Brasília, 2014. Disponível em:

<<https://repositorio.ucb.br/jspui/bitstream/10869/4678/1/Rebeca%20Ara%C3%BAjo.pdf>>

SILVA, IVONEIDE ROSILDA. **Verificação das vantagens de se utilizar projetos de escoramentos e forma em estruturas de concreto armado.** Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016. Disponível em: <http://security.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/copy_of_2016.1/verificacao-das-vantagens-de-se-utilizar-projetos-de-escoramentos-e-forma-em-estruturas-de-concreto-armado.pdf>. Acesso em: 15 de setembro de 2017.

ANEXO – POSICIONAMENTO DAS VIGAS PRIMÁRIAS, SECUNDÁRIAS E DAS ESCORAS



Forma do pavimento Piso Terreo (Nível 0)