

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Análise e Dimensionamento de Estruturas em concreto e aço.

Warlei Alves dos Santos

FÔRMAS E ESCORAMENTOS PARA EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO:

Critérios para dimensionamento e escolha do sistema

Belo Horizonte

2017

Warlei Alves dos Santos

**FÔRMAS E ESCORAMENTOS PARA EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO:
Critérios para dimensionamento e escolha do sistema**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, como requisito parcial para obtenção do título de “Especialista em Análise e Dimensionamento de Estruturas em concreto e aço”

Orientador: Prof. Pedro Vianna Pessoa de Mendonça

Área de concentração: Engenharia de Estruturas

Belo Horizonte

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
*Curso de Especialização em Análise e Dimensionamento de
Estruturas de Concreto Armado e Aço*

ATA DA DEFESA

**“Fôrmas e Escoramentos para Edifícios em Concreto Armado –
Critérios para Dimensionamento e Escolha do Sistema”**

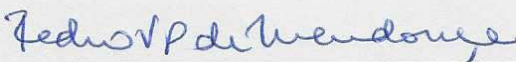
WARLEI ALVES DOS SANTOS

Trabalho Final defendido perante a banca examinadora, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de “Especialista em Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado e Aço”

Aprovada em 28 de dezembro de 2017.

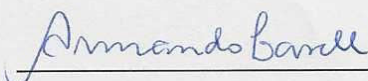
Por:

Prof. Pedro Vianna Pessoa de Mendonça
Avaliador 1 – Orientador



Nota: 90

Prof. Dr. Armando Cesar Campos Lavall
Avaliador 2



Nota: 90

*Aos meus irmãos
Werles Alves, Wellington Alves e Tânia Alves (in memoriam)
Pelo amor e apoio incondicional, independente da minha situação*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter permitido a realização deste curso de Especialização em análise e dimensionamento de estruturas de concreto Armado e Aço, que com muita luta, entusiasmo e alegria concluo mais uma etapa em busca do conhecimento.

Aos meus pais que inculcaram em mim a importância da educação, do trabalho e pelo amor incondicional e cuidado de sempre.

Ao prof. Dr. Pedro Vianna Pessoa de Mendonça, Prof. Dr. Ney Amorim Silva e prof. Dr. Roberto pelos conhecimentos transferidos e pela orientação, e aos demais professores e profissionais do curso de Especialização em análise e dimensionamento de estruturas de concreto Armado e Aço pelos conhecimentos compartilhados durante e após o período do curso.

Aos meus clientes e amigos Eng. Dalton Volpini, Eng. José Eustaquio Vasconcelos, Eng. Alexandre Vasconcelos, Eng. Humberto Greco, Eng. Henrique de Oliveira, Eng. Hedmilson Bragança, Eng. Zilmar Santiago, Eng. Carlos Antônio Pereira Pinheiro, Eng. Carlos Antônio Pinheiro e Eng. Warley Santos pela presteza nas trocas de experiências e pelas oportunidades.

Aos meus colegas do curso de Especialização em análise e dimensionamento de estruturas de concreto Armado e Aço, Eng. Bruno Lopes Barcelos, Eng. Renato Andrade, Eng. Heleno Siqueira e Eng. Marcelo Arantes pelo companheirismo, troca de conhecimentos e amizade consolidada.

RESUMO

Neste trabalho foi realizada uma análise técnica comparativa dos principais elementos de uma edificação, vigas, pilares e lajes, no tocante ao projeto de fôrmas usadas para a execução dos mesmos, bem como demonstrada a importância econômica das fôrmas e cimbramentos em relação ao custo da estrutura de concreto.

O custo de uma fôrma é composto por seus insumos como compensados e madeiras em bruto, a utilização ou não de equipamentos metálicos para cimbramentos, mão-de-obra para confecção das fôrmas e para montagem das fôrmas, cimbramentos e travamentos, conforme prazo de execução de uma obra.

O objetivo do estudo é apresentar a importância de um projeto estrutural concebido de maneira a otimizar o sistema construtivo, mantendo fiel o projeto arquitetônico. Visando mostrar sucintamente, as possíveis tipologias estruturais em concreto armado que reduzirá o custo na utilização do sistema de fôrma, cimbramentos horizontais e verticais.

A motivação para este trabalho é colocar em prática os conhecimentos adquiridos no curso de Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado e Aço, e a minha vivência como prestador de serviços na área de produção civil de estruturas em concreto armado pela empresa Max Fôrma Técnica em Construções e comparar os resultados dos sistemas utilizados.

Palavras-chave: engenharia de estruturas; concreto armado e aço; fôrmas; técnicas em construções; sistemas construtivos.

ABSTRAT

In this work, a comparative technical analysis is made for the main elements of a building, beams, pillars and slabs, with respect to the design of forms used for their execution, and also demonstrated to the economic importance of forms and structures in relation to the cost of concrete structure.

The cost of a form is made up of its raw materials such as plywood and raw wood, the use or not of metal fittings, workmanship for making the forms and for assembling of the forms, structures and locks, according to the execution period of a work.

The objective of the study is to present the importance of a structural design designed in order to optimize the constructive system, keeping the architectural design faithful. Aiming to show succinctly, the possible structural typologies in reinforced concrete that will reduce the cost in the use of the formwork system, horizontal and vertical constructions.

The motivation for this work is to put into practice the knowledge acquired in the Dimensioning of Structures of Armed Concrete and Steel, and my experience as a service provider in the civil production of structures in reinforced concrete by the company Max Forma Técnicas em Construções and compare the results of the systems used.

Keywords: structural engineering; reinforced concrete and steel; forms; construction techniques; constructive systems.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 9 |
| 1.1 Aspectos Gerais | 9 |
| 2 ANÁLISE TÉCNICA: CÁLCULOS BÁSICOS | 11 |
| 2.1 Ações permanentes | 11 |
| 2.1.1 Peso próprio dos materiais | 11 |
| 2.2 Ações variáveis | 11 |
| 2.3 Pressão do Vento | 12 |
| 2.3.1 Pressão dinâmica do vento segundo a norma alemã | 12 |
| 2.3.2 Pressão dinâmica do vento segundo a norma americana | 13 |
| 2.3.3 Pressão dinâmica do vento segundo a norma brasileira | 13 |
| 2.4 Pressão lateral do concreto fresco | 16 |
| 2.4.1 Definições | 16 |
| 2.4.2 Norma alemã – DIN | 17 |
| 2.4.3 Distribuição da pressão do concreto fluido pela altura | 18 |
| 2.5 Fatores que influenciam a pressão do concreto fluido | 18 |
| 2.5.1 Vibração | 19 |
| 2.5.2 Temperatura do concreto fluido | 20 |
| 2.5.3 Temperatura ambiente | 20 |
| 2.5.4 Aditivos do concreto | 20 |
| 2.5.5 Concretos auto adensáveis | 21 |
| 2.5.6 Concreto leve e concreto pesado | 21 |
| 2.6 Cálculo simplificado do empuxo do concreto | 22 |
| 2.7 Cargas admissíveis e fator de segurança | 23 |
| 2.8 Método de cálculo | 24 |
| 2.8.1 Método das tensões admissíveis e método dos estados-limite | 24 |
| 2.8.2 Estados-limite últimos | 24 |
| 2.8.3 Estados-limite de utilização | 25 |
| 3 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS USADOS EM FÔRMAS E ESCORAMENTOS | 28 |
| 3.1 Madeira | 28 |
| 3.1.1 Madeira em bruto (Serrada) | 29 |
| 3.1.2 Madeira industrializada (Compensado) | 34 |

| | |
|---|------------|
| 3.1.3 Adesivos..... | 39 |
| 3.1.4 Conectores..... | 44 |
| 3.1.5 Revestimentos | 46 |
| 3.1.6 Aço..... | 47 |
| 3.1.7 Alumínio | 47 |
| 3.1.8 Outros materiais | 48 |
| 4 FÔRMA | 49 |
| 5 CIMBRAMENTO (ESCORAMENTO) | 59 |
| 6 ANÁLISE ECONÔMICA PARA ESCOLHA DO SISTEMA DE FÔRMAS | 65 |
| 6.1 Estudos de pilares | 66 |
| 6.1.1 Combinações consideradas (hipóteses de cálculo) | 68 |
| 7 ESTUDO DE CASO | 95 |
| 8 SISTEMA DE FÔRMA DE MADEIRA PRONTA (MAX FÔRMA TÉCNICAS EM CONSTRUÇÕES) | 112 |
| 9 CONCLUSÃO | 118 |
| REFERÊNCIAS | 119 |
| ANEXOS | 120 |

1 INTRODUÇÃO

A importância das fôrmas na concepção de um projeto estrutural, a definição do sistema adequado a ser adotado na execução da estrutura e os impactos inerente aos custos gerados em um edifício, justifica plenamente um estudo detalhado do seu dimensionamento e a melhor escolha dos materiais, o que acabará refletindo na mão de obra e nos demais itens, mesmo aqueles não diretamente ligados a estrutura de concreto armado.

Nos edifícios residenciais, comerciais, verticalizados ou horizontais, o custo das fôrmas pode variar de 25% a 30% do total da obra e o prazo da execução pode chegar a índices de 50% e 60%, o que por si só aponta para a cautela e para as repercussões que tais eventos podem acarretar no preço de venda do produto a ser comercializado.

Mais do que isso, porém, são as sequelas que o mau dimensionamento pode ocasionar ao longo do período de execução, ou mesmo após a entrega do empreendimento, com o surgimento de fissuras decorrentes de uma deformação ocasionada por um projeto de fôrma mal dimensionada.

1.1 Aspectos Gerais

Serão objetos da presente pesquisa, os planos de escoramento e reescoramento, cuja relevância é igual ou superior ao projeto de fôrma propriamente dito. Os carregamentos decorrentes do peso próprio da estrutura de concreto que em muitos casos podem ser maiores que as sobrecargas previstas no projeto estrutural, e, dependendo do prazo programado para a desforma, o módulo de deformação, ou o módulo de elasticidade, previsto no projeto estrutural de concreto ainda pode não ter o seu valor esperado atingido.

Ainda, a importância da interação entre as partes intervenientes, quais sejam, a arquitetura na definição dos espaços e a engenharia estrutural no projeto das fôrmas, compatibilizando assim, um projeto mais viável economicamente.

Por fim, serão abordados aspectos construtivos, qualidades dos materiais, análise de custos e serão apresentados alguns exemplos reais, nos quais tais fatos ocorreram e mudanças de solução estrutural foram introduzidas a partir das sugestões ocorridas durante análises dos projetos de fôrma.

Os estudos técnicos e econômicos apresentados no presente trabalho, tem por finalidade gerar informações úteis a todos os profissionais que atuam na área e a todos os interessados no

aprimoramento e desenvolvimento da engenharia, repassando um pouco da minha experiência profissional adquirida nestes 14 anos de atuação nesse setor.

Evidentemente, como qualquer assunto de pesquisa técnica, não há a menor pretensão de esgotá-lo, sendo que o presente trabalho visa contribuir e provocar a curiosidade, ou mesmo a discórdia, acerca dos métodos construtivos, o que culmina com o engrandecimento da engenharia.

Foram considerados dados reais e empíricos desenvolvidos e adotados pela empresa Max Fôrma Técnicas e Construções, especializada na execução de estruturas em concreto armado, bem como bibliografias.

2 ANÁLISE TÉCNICA: Cálculos básicos

O cimbramento e as fôrmas devem ser montados de modo que todas as solicitações neles atuantes sejam transferidas com segurança para o solo ou outra estrutura de apoio. Sendo os cimbramentos e as fôrmas estruturais provisórias, as considerações de cargas a serem adotadas são as que seguem.

2.1 Ações permanentes

As cargas permanentes consistem em:

- a) peso próprio dos elementos da estrutura de escoramento e das fôrmas;
- b) peso de todos os elementos da estrutura de concreto a serem suportados pela estrutura do escoramento, tais como lajes, vigas, paredes, capitéis, etc.;
- c) quaisquer outras ações de caráter praticamente permanente ao longo da utilização provisória da estrutura das fôrmas e escoramentos;
- d) pressão do concreto fresco sobre as fôrmas verticais e horizontais.

2.1.1 *Peso próprio dos materiais*

Considerar para o cálculo do peso próprio dos materiais:

- a) peso específico do concreto armado: $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$;
- b) peso específico do aço: $\gamma_a = 78 \text{ kN/m}^3$;
- c) peso específico do alumínio: $\gamma_{al} = 28 \text{ kN/m}^3$;
- d) peso específico da madeira: conforme a madeira utilizada (NBR 7190:1997);
- e) Outros materiais: conforme normas específicas.

2.2 Ações variáveis

Cargas variáveis são aquelas que resultam de:

- a) cargas provenientes do método de lançamento do concreto sobre as fôrmas e o escoramento;
- b) carregamento assimétrico sobre as fôrmas e escoramentos;
- c) sobrecarga de trabalho na execução dos serviços de lançamento, adensamento e acabamento do concreto. A sobrecarga de trabalho deve ser no mínimo 2,0 kN/m²;
- d) impacto do lançamento do concreto: as cargas variáveis, em alguns casos, já incluem os efeitos normais de impacto. Entretanto, devem ser considerados no projeto, além dos valores estáticos das cargas, também os efeitos dinâmicos ou de impactos causados por máquinas, equipamentos, de como é feito o lançamento do concreto, etc.; caso isto seja mais desfavorável ou não tiver sido considerado.

OBS.: O impacto máximo a ser considerado no lançamento do concreto sobre a fôrma horizontal está limitado ao esforço resultante do lançamento de uma altura de 0,20m acima do nível acabado. Para alturas maiores de 0,20m, o cálculo deverá prever sobrecargas adicionais;

- e) vibrações decorrentes de equipamentos de adensamento do concreto;
- f) pressões de vento: conforme determinações da norma NBR 6123:1988, não devendo ser inferiores a 0,59 kN/m².

2.3 Pressão do Vento

Os cimbramentos estão sujeitos a pressão do vento, atuando sobre as áreas das fôrmas e das peças do escoramento. Estas pressões devem ser consideradas conforme a NBR 6123:1988. As demais normas internacionais são mencionadas apenas a título de comparação.

A carga de vento a ser adotada dependerá, entretanto, de uma avaliação do risco da incidência de ventos muito fortes e das consequências de um acidente provocado por ventos excepcionais.

Tratando-se de obras temporárias, a pressão do vento pode ser tomada igual a cerca de 80% das pressões adotadas para o projeto de obras permanentes.

2.3.1 Pressão dinâmica do vento segundo a norma alemã

Segundo a **norma técnica alemã DIN 1055:83**, podem ser usadas as pressões dinâmicas da tabela que segue, em função das faixas de altura sobre o terreno.

A velocidade do vento é influenciada pela topografia local.

Tabela 1 – Velocidade do vento X Topografia local

| Altura sobre o terreno h (m) | Velocidade v (m/s) | Pressão dinâmica q kN/m² |
|---|-------------------------------|--|
| 0<h≤8 | 28,3 | 0,5 |
| 8<h≤20 | 35,8 | 0,8 |
| 20<h≤100 | 42,0 | 1,1 |
| h>100 | 45,6 | 1,3 |

Fonte: Manual SH de Fôrmas e Escoramentos (2008)

As velocidades do vento podem ainda ser ampliadas por efeitos de afunilamento em vales ou gargantas, ou por efeito de ventos fortes de atuação regional.

2.3.2 Pressão dinâmica do vento segundo a norma americana

Segundo as normas americanas ACI, a pressão de vento a se considerar no dimensionamento de fôrmas é igual a $0,5 \text{ kN/m}^2 = 50 \text{ kgf/m}^2$.

2.3.3 Pressão dinâmica do vento segundo a norma brasileira

Segundo a norma brasileira NBR 6123:1988, deve ser considerada a velocidade de vento a partir da aplicação da seguinte fórmula $V_k = V_0 * S1 * S2 * S3$, onde V_k é a velocidade característica do vento, V_0 é a velocidade básica do vento,

Nesse sentido, V_k , V_0 , a velocidade de uma rajada de 3 segundos, exercida em média uma vez cada 50 anos, e 10m acima do terreno em campo abeto e plano. Velocidades que variam no Brasil entre 25 e 50 m/s.

$S1$ é o fator topográfico, = 1,0 em todos os casos, exceto os dois seguintes:

- a) encostas e cristas de morros em que ocorre aceleração de vento: $S1 = 1,1$
- b) valas profundas, protegidas de todos os ventos: $S1 = 0,9$

S2 é o fator de rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno, cujos valores são indicados na tabela 2.

S3 é o fator estatístico cujos valores são indicados na tabela 3.

Tabela 2 – Fator S2

(continua)

| Altura acima do Terreno H (m) | Terreno Aberto sem Obstruções | | | Terreno Aberto com poucas Obstruções | | | Terreno com muitas Obstruções; Pequenas Cidades | | | Terreno com Obstruções Grandes e Frequências | | |
|---|----------------------------------|------|------|--|------|------|---|------|------|---|------|------|
| | A | B | C | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| ≤ 3 | 0,83 | 0,78 | 0,73 | 0,72 | 0,67 | 0,63 | 0,64 | 0,6 | 0,55 | 0,56 | 0,52 | 0,47 |
| 5 | 0,88 | 0,83 | 0,78 | 0,79 | 0,74 | 0,7 | 0,7 | 0,65 | 0,6 | 0,6 | 0,55 | 0,5 |
| 10 | 1 | 0,95 | 0,9 | 0,93 | 0,88 | 0,83 | 0,78 | 0,74 | 0,69 | 0,67 | 0,62 | 0,58 |
| 15 | 1,03 | 0,99 | 0,94 | 1 | 0,95 | 0,91 | 0,88 | 0,83 | 0,78 | 0,74 | 0,69 | 0,64 |
| 20 | 1,06 | 1,01 | 0,96 | 1,03 | 0,98 | 0,94 | 0,95 | 0,9 | 0,85 | 0,79 | 0,75 | 0,7 |
| 30 | 1,09 | 1,05 | 1 | 1,07 | 1,03 | 0,98 | 1,01 | 0,97 | 0,92 | 0,9 | 0,85 | 0,79 |
| 40 | 1,12 | 1,08 | 1,03 | 1,1 | 1,06 | 1,01 | 1,05 | 1,01 | 0,96 | 0,97 | 0,93 | 0,89 |
| 50 | 1,14 | 1,1 | 1,06 | 1,12 | 1,08 | 1,04 | 1,08 | 1,04 | 1 | 1,02 | 0,98 | 0,94 |
| 60 | 1,15 | 1,12 | 1,08 | 1,14 | 1,1 | 1,06 | 1,1 | 1,06 | 1,02 | 1,05 | 1,02 | 0,98 |

(conclusão)

| Altura acima do Terreno H (m) | Terreno Aberto sem Obstruções | | | Terreno Aberto com poucas Obstruções | | | Terreno com muitas Obstruções; Pequenas Cidades | | | Terreno com Obstruções Grandes e Frequências | | |
|-------------------------------|-------------------------------|------|------|--------------------------------------|------|------|---|------|------|--|------|------|
| | A | B | C | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| 80 | 1,18 | 1,15 | 1,11 | 1,17 | 1,13 | 1,09 | 1,13 | 1,1 | 1,06 | 1,1 | 1,07 | 1,03 |
| 100 | 1,2 | 1,17 | 1,13 | 1,19 | 1,16 | 1,12 | 1,16 | 1,12 | 1,09 | 1,13 | 1,1 | 1,07 |
| 120 | 1,22 | 1,19 | 1,15 | 1,21 | 1,18 | 1,14 | 1,18 | 1,15 | 1,11 | 1,15 | 1,13 | 1,1 |
| 140 | 1,24 | 1,2 | 1,17 | 1,22 | 1,19 | 1,16 | 1,2 | 1,17 | 1,13 | 1,17 | 1,15 | 1,12 |
| 160 | 1,25 | 1,22 | 1,19 | 1,24 | 1,21 | 1,18 | 1,21 | 1,18 | 1,15 | 1,19 | 1,17 | 1,14 |
| 180 | 1,26 | 1,23 | 1,2 | 1,25 | 1,22 | 1,19 | 1,23 | 1,2 | 1,17 | 1,2 | 1,19 | 1,16 |
| 200 | 1,27 | 1,24 | 1,21 | 1,26 | 1,24 | 1,21 | 1,24 | 1,21 | 1,19 | 1,22 | 1,21 | 1,18 |

Fonte: Manual SH de Fôrmas e Escoramentos (2008)

Legenda:

A = todas as unidades de vedação, e seus elementos de fixação

B = edificações com maior dimensão horizontal ou vertical inferior ou igual a 50m;

C = Edificações com maior dimensão horizontal ou vertical superior a 50m

Tabela 3 – Fator S3 topográfico

| Grupo | Descrição | S3 |
|-------|---|------|
| 1 | Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros) | 1,10 |
| 2 | Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação | 1,00 |
| 3 | Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais) | 0,95 |
| 4 | Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação) | 0,88 |
| 5 | Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção | 0,83 |

Fonte: Manual SH de Fôrmas e Escoramentos (2008)

2.4 Pressão lateral do concreto fresco

Para o dimensionamento de fôrmas verticais para concreto, inclusive ancoragens e estroncamentos, deve-se considerar a pressão do concreto fluido como ação permanente.

As pressões de concreto fluido, determinadas de acordo com esta norma, são determinantes para fôrmas verticais com variações de até $\pm 5^\circ$ do prumo.

Medidas de redução de pressão não poderão ser adotadas se não puderem ser garantidas, ainda que por tecnologia do concreto ou tecnologia da fôrma.

Além do valor da pressão, deve ser considerada a distribuição desta pressão sobre a fôrma.

2.4.1 Definições

- a) Pressão do concreto fluido: é a pressão horizontal que o concreto exerce na face da fôrma em contato com o mesmo. O símbolo para esta pressão é p_b e a unidade é kN/m^2 .
- b) Velocidade da concretagem: é o incremento vertical do nível superior do concreto fluido medido linearmente em relação ao tempo decorrido de concretagem. O símbolo é V_b e a unidade é m/h .
- c) Altura hidrostática: é a diferença entre a superfície superior do concreto fluido e a altura, onde a pressão do concreto fluido atinge o valor máximo p_b . O símbolo é h_s e a unidade é m .
- d) Consistência: caracteriza a mobilidade e a fluidez do concreto. O concreto pode ser classificado usando o Slump nas seguintes classes de consistência:

Tabela 4 – Consistência

| Classe de consistência | Descrição | Slump em mm |
|------------------------|--------------------------------|-------------|
| C1 | concreto duro | < 10 |
| C2 | concreto plástico | 10 - 70 |
| C3 | concreto mole ou quase líquido | 80 - 150 |
| C4 | concreto líquido | > 160 |

Fonte: Manual SH de Fôrmas e Escoramentos (2008)

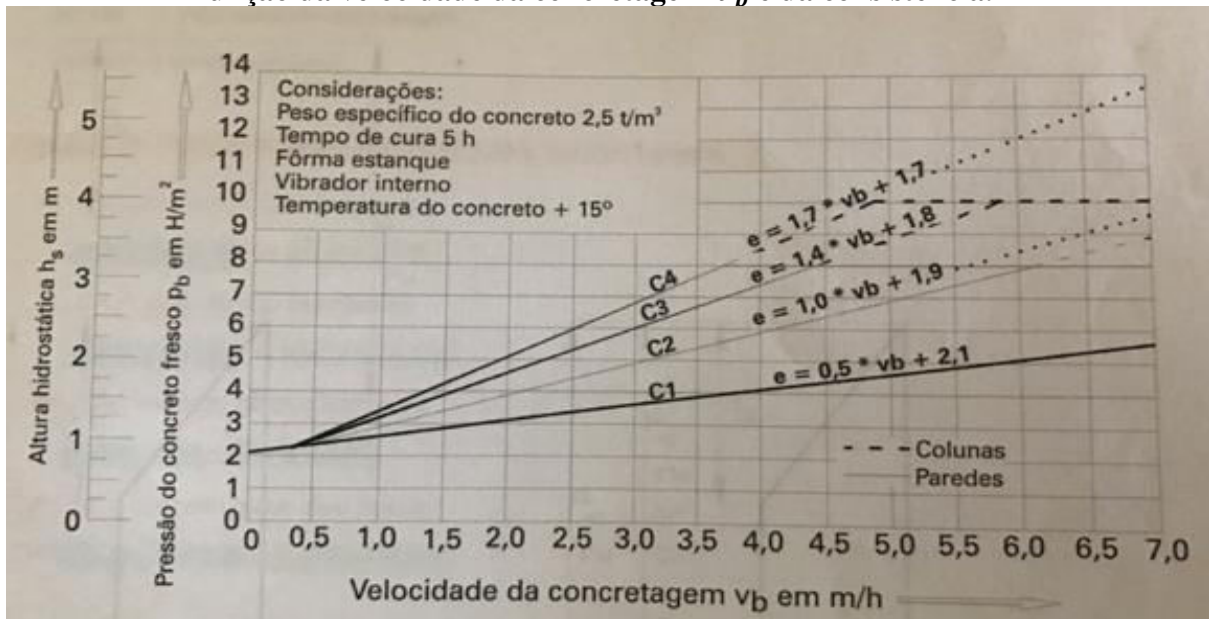
e) Tempo de endurecimento: é o período necessário para que ocorra a perda de consistência do concreto, onde a pressão horizontal contra a fôrma, com carga vertical adicional, não mais aumenta. O símbolo é t e a unidade de medida, horas.

2.4.2 Norma alemã – DIN

De acordo com a Norma Alemã, DIN 1055/83, podem ser extraídas a pressão do concreto fluido p_b e a altura hidrostática h_s correspondente a diversas velocidades de concretagem e classes de consistência do concreto, a partir das seguintes considerações:

- o peso específico do concreto fluido é de 25 kN/m^3 ;
- o concreto fluido está sendo lançado com temperatura própria de 15°C ;
- o concreto fluido perde a consistência em no máximo 5 horas;
- a compactação do concreto fluido é feita com vibração interna;
- a fôrma é estanque;
- a velocidade da concretagem não passa de $7,0 \text{ m/h}$;

Figura 1 – Diagrama para determinação de pressão do concreto p_b em função da velocidade da concretagem v_b e da consistência.

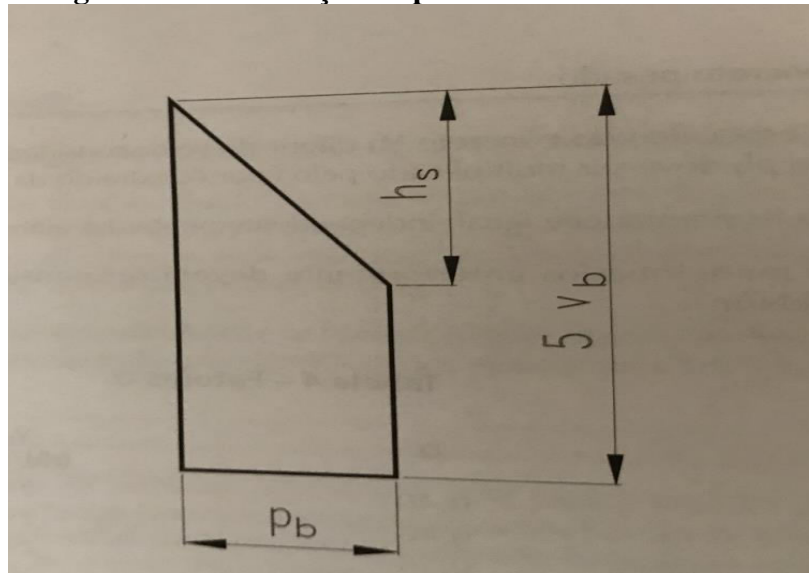


Fonte: Manual SH de Fôrmas e Escoramentos (2008)

2.4.3 Distribuição da pressão do concreto fluido pela altura

A distribuição da pressão do concreto fluido pela altura $h = 5vb$ (tempo de endurecimento x velocidade de concretagem) deve ser considerada conforme figura 2. Para o dimensionamento da fôrma deve ser considerado o posicionamento da carga conforme figura 2, na situação mais desfavorável em relação à altura total da fôrma (vide figura 3).

Figura 2 – Distribuição da pressão do concreto fluido.



Fonte: Manual SH de Fôrmas e Escoramentos (2008)

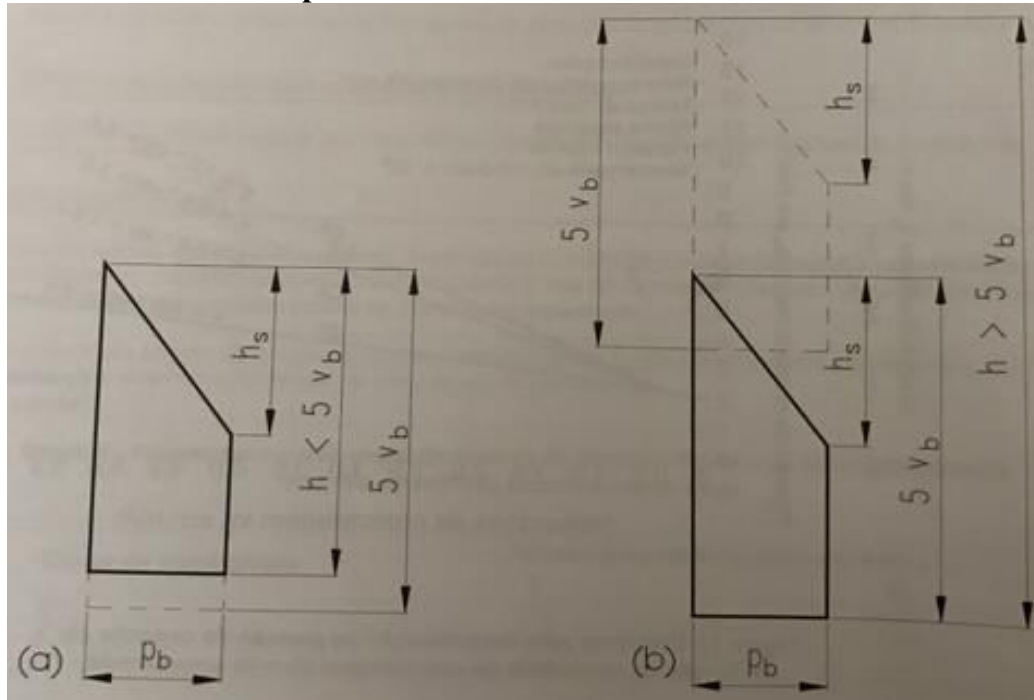
2.5 Fatores que influenciam a pressão do concreto fluido

Vários fatores podem aumentar ou reduzir a pressão do concreto fluido. A pressão hidrostática $p_b = \gamma * h$ é a pressão máxima possível. Este valor deve ser usado como limite em casos que, em função de um ou mais fatores, o cálculo resultar em valores mais altos.

Na primeira hipótese (a), parte da carga não se aplica;

Na segunda hipótese b) a carga se desloca sobre a altura.

Figura 3 – Consideração para distribuição da pressão do concreto fluido para altura h da fôrma variada.



Fonte: Manual SH de Fôrmas e Escoramentos (2008)

2.5.1 Vibração

O diagrama da figura 1 é válido para a compactação do concreto com vibradores internos. Em casos de compactação do concreto com vibradores externos ou vibradores acoplados na fôrma, para as partes da fôrma onde estes vibradores têm influência durante a compactação deve ser considerada a pressão hidrostática $p_b = 25 * h_r$. Vibrações externas permanentes ou com alta frequência, mesmo que aconteçam não intencionalmente para o fim da compactação do concreto fluido, devem ser consideradas igualmente.

A pressão do concreto fluido, conforme diagrama da figura 1, vale para profundidade da vibração h_r , até a altura hidrostática h_s . Planejando profundidades de vibrações maiores mantendo os outros fatores de influência do diagrama, a pressão do concreto deve ser aumentada para $p_b = 25 * h_r$.

2.5.2 Temperatura do concreto fluido

A temperatura influencia o tempo de endurecimento e, através deste tempo, a pressão do concreto fluido.

No momento de lançamento do concreto, caso a temperatura ultrapasse 15°C, a pressão do concreto fluido p_b e altura hidrostática h_s podem ser reduzidas em 3% para cada 1° C, em no máximo 30% no total, desde que a produção do concreto e/ou execução da fôrma e/ou medidas de proteção garantam a manutenção desta temperatura até o final do endurecimento.

Contudo, caso a temperatura apurada seja menor de 15°C, ou quando a temperatura de 15°C não puder ser mantida, e h_s devem ser aumentados em 3% para cada 1°C abaixo de 15°C.

2.5.3 Temperatura ambiente

A influência de temperaturas de ambientes inferiores a 15°C para pressão do concreto não precisa ser considerada, desde que o concreto mantenha a temperatura em função de medidas de isolamento térmico. Sem medidas de isolamento térmico este fator deve ser considerado no caso de a temperatura do concreto, durante o endurecimento, cair abaixo de + 15°C. p_b e h_s devem ser aumentados em 3% para cada 1°C abaixo de 15°C.

Não é permitido considerar a influência de temperaturas de ambientes acima de 15°C.

O aumento da pressão do concreto em função da refrigeração do concreto fluido deve ser considerado, desde que a temperatura do concreto caia durante o endurecimento abaixo de + 15°C.

2.5.4 Aditivos do concreto

Aditivos influenciam a pressão basicamente através de alterações da consistência ou do tempo endurecimento.

- a) Aditivos para aumentar fluidez e para criação de bolhas de ar

O aumento da pressão causado por estes aditivos deve ser considerado através da classe da consistência.

- b) Retardadores de pega

Usando aditivos retardadores, os valores de pressão do concreto p_b e a altura hidrostática h_s extraídos do diagrama (figura 1) devem ser multiplicados conforme valores da tabela abaixo (Tabela 5).

Esta tabela é válida somente para as alturas de concretagem até 10 m. Valores intermediários podem ser interpolados linearmente.

Tabela 5 – Fatores para majoração do concreto fluido e altura hidrostática com uso de aditivos retardadores de pega

| Classe de consistência | Fatores para retardamento em horas | |
|------------------------|------------------------------------|------|
| | 5 | 15 |
| C1 | 1,15 | 1,45 |
| C2 | 1,25 | 1,80 |
| C3 e C4 | 1,4 | 2,15 |

Fonte: Manual SH de Fôrmas e Escoramentos (2008)

A redução da pressão do concreto e da altura hidrostática, em função de temperaturas superiores a + 15°C não pode ser considerada em caso de uso de retardadores.

2.5.5 Concretos auto adensáveis

São concretos aditivados que não exigem vibração interna ou externa para seu adensamento. Como sua fluidez é alta, nestes casos considerar a pressão do concreto como sendo $p_b = \gamma * h$.

2.5.6 Concreto leve e concreto pesado

No caso de o peso específico do concreto γ_b diferir do valor considerado no diagrama de 25 kN/m³, o valor da pressão do concreto p_b deve ser multiplicado pelo fator ‘ α ’ extraído da tabela abaixo (Tabela 6).

A altura hidrostática h_s permanece igual, independente das alterações do peso específico. Os outros fatores mencionados anteriormente devem ser considerados iguais ao concreto com peso específico de 25 kN/m³.

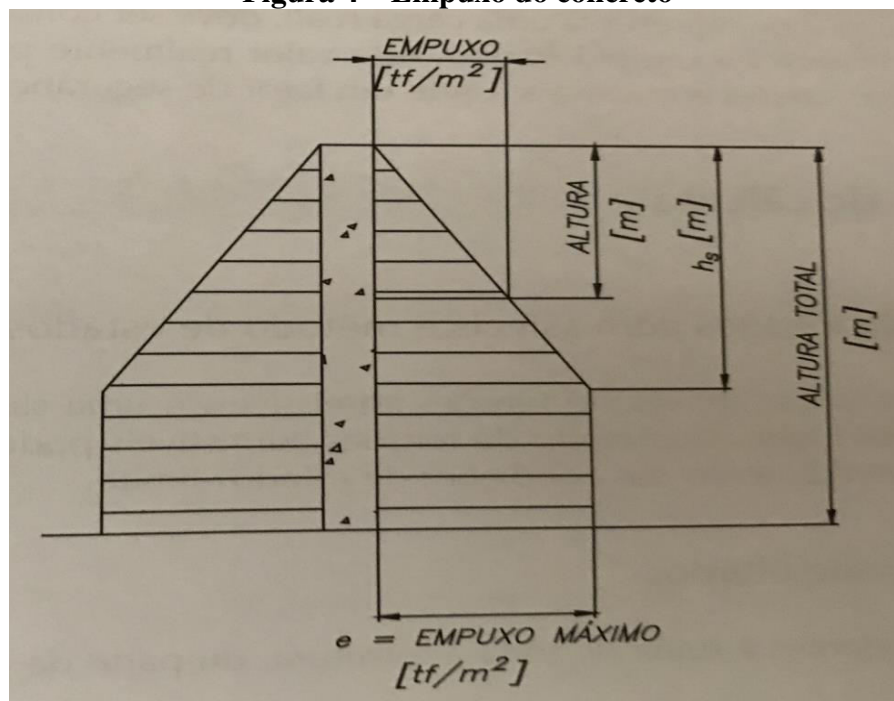
Tabela 6 – Fatores ‘ α ’

| γ_b kN/m ³ | A | γ_b kN/m ³ | α |
|---------------------------------|------|---------------------------------|----------|
| 10 | 0,40 | 24 | 0,96 |
| 12 | 0,48 | 25 | 1,00 |
| 14 | 0,56 | 26 | 1,04 |
| 16 | 0,64 | 28 | 1,12 |
| 17 | 0,72 | 30 | 1,20 |
| 20 | 0,80 | 35 | 1,40 |
| 22 | 0,88 | 40 | 1,60 |

Fonte: Manual SH de Fôrmas e Escoramentos (2008)

2.6 Cálculo simplificado do empuxo do concreto

Figura 4 – Empuxo do concreto



Fonte: Manual SH de Fôrmas e Escoramentos (2008)

v [m/h] = velocidade da concretagem

e [tf/m^2] = empuxo máximo

O empuxo do concreto depende muito da liquidez. Existem 04 grupos:

a) C4 = concreto líquido (projetado)

$$e = 1,7 v + 1,7 \text{ ou } v = 0,6 e - 1$$

b) C3 = quase líquido (bombeado)

$$e = 1,4 v + 1,8 \text{ ou } v = 0,7 e - 1,3$$

c) C2 = concreto plástico (caçamba)

$$e = v + 1,9 \text{ ou } v = e - 1,9$$

d) C1 = concreto quase duro (rolado)

$$e = 0,5 v + 2,1 \text{ ou } v = 2 e - 4,2$$

Altura hidrostática: h_s [m] = $0,4 \times e$ [tf/m²]

com altura < altura hidrostática → empuxo = $e \times \text{altura}/h_s$

com altura ≥ altura hidrostática → empuxo = e

Exemplo:

Considerando uma fôrma que suporta 4 tf/m², o concreto é do grupo C3 (quase líquido), a altura da concretagem é 2,70 m.

A velocidade da concretagem permitida é: $v = 0,7 e - 1,3 = 1,5$ m/h

O empuxo máximo (4 tf/m²) é atingido a partir da altura $h_s = 0,4 \times e = 1,6$ m.

2.7 Cargas admissíveis e fator de segurança

Além da sobrecarga (que representa uma carga real), deve ser considerado um fator de segurança. Usando valores de resistência admissível (exemplo σ_{adm}), este valor realmente pode ser considerado. A maioria dos catálogos técnicos já fornecem valores admissíveis, onde um fator de segurança já está considerado.

2.8 Método de cálculo

2.8.1 Método das tensões admissíveis e método dos estados-limite

O cálculo de resistência calculado através das tensões admissíveis é uma simplificação em relação ao cálculo seguindo o método dos estados-limite.

O método das tensões admissíveis pode ser aplicado desde que o fator de segurança usado garanta o atendimento das condições de estados-limite.

2.8.2 Estados-limite últimos

Estados correspondentes à ruína de toda estrutura, ou parte da mesma, por ruptura, deformações plásticas ou por instabilidade.

A condição para o dimensionamento é:

σ_d = Tensão de dimensionamento $\sigma_d \leq \sigma_{resit}$, onde:

$$\sigma_d = \sigma_g * \gamma_g + \sigma_b * \gamma_b + \sigma_e * \gamma_e$$

σ_{adm} = Tensão admissível para o dimensionamento

σ_g = Tensão nominal devido a ações permanentes (ex.: peso próprio)

γ_g = Coeficiente de segurança das ações permanentes (1,4)

σ_b = Tensão nominal devido às ações variáveis (ex.: sobre carga de uso)

γ_b = Coeficiente de segurança das ações variáveis (1,5)

σ_e = Tensão nominal devido a ações excepcionais (ex.: pressões de vento e variações de temperatura)

γ_e = Coeficiente de segurança das ações excepcionais (1,4)

$$\sigma_{resit} = f_y * \Phi$$

f_y = Limite de escoamento do material utilizado

Φ = Coeficiente de segurança do material utilizado

$\gamma_{máx}$ = Coeficiente máximo das cargas

Tabela 7 – Coeficiente de resistência

| Solicitação | Φ Coeficiente de resistência | | | |
|-------------|-----------------------------------|---------------|-------------------------|----------|
| | Aço | Madeira bruta | Madeira industrializada | Alumínio |
| | | | | |

| | | | | |
|-------------------------|-----|------|------|-----|
| Tração/Compressão | 0,9 | 0,30 | 0,60 | 0,9 |
| Cisalhamento (cortante) | 0,9 | 0,30 | 0,60 | 0,9 |
| Flexão | 0,9 | 0,30 | 0,60 | 0,9 |
| Flambagem | 0,9 | 0,30 | 0,60 | 0,9 |

Fonte: Manual SH de Fôrmas e Escoramentos (2008)

Para calcular com tensões admissíveis, deve ser aplicado um fator de segurança que atende a combinação mais desfavorável; vide exemplo para aço:

$$\sigma_{adm} < \frac{\sigma_{resist}}{\gamma_{m\acute{a}ximo}} = \frac{f_Y * \Phi}{\gamma_{m\acute{a}ximo}} = \frac{f_Y * 0,9}{1,5} = \frac{f_Y}{1,67}$$

2.8.3 Estados-limite de utilização

Estados que, pela sua ocorrência, repetição ou duração, provoquem efeitos incompatíveis, com as condições de uso da estrutura, tais como: deslocamentos excessivos, vibrações, e deformações permanentes.

A condição para dimensionamento é:

$$f_{aplicada} \leq f_{adm}, \text{ onde:}$$

$f_{aplicada}$ = Máxima deformação (flecha) aplicada no elemento calculado com carga de peso próprio do concreto e uma sobrecarga de 1,0 kN/m² sem coeficiente de segurança.

f_{adm} = Deformação máxima admissível, conforme abaixo:

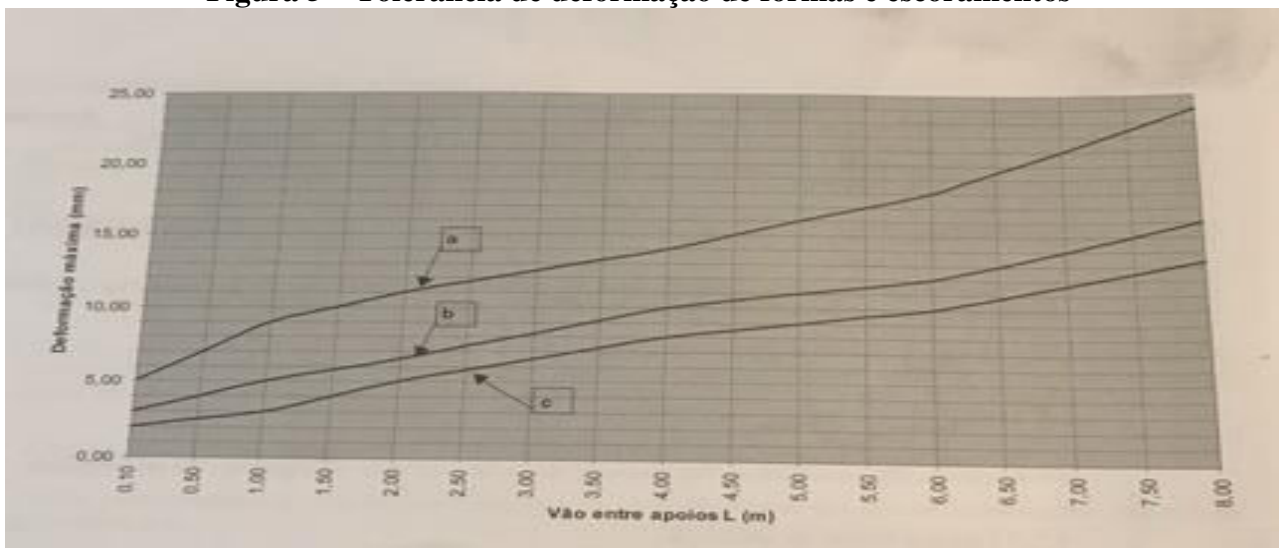
Tabela 8 – Deformação máxima permitida

| | Deformação máxima (mm), permitida em função do vão L (mm) | | | | | | |
|---|--|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | L = 100 | L = 500 | L = 1.000 | L = 2.000 | L = 4.000 | L = 6.000 | L > 6.000 |
| A | 5 | 7 | 9 | 11 | 14 | 18 | L/333 |
| B | 3 | 4 | 5 | 6,5 | 10 | 12 | L/500 |
| C | 2 | 2,5 | 3 | 5 | 8 | 10 | L/600 |

Fonte: Manual SH de Fôrmas e Escoramentos (2008)

- A. Superfícies com acabamento de pouca exigência e faces inferiores de trechos brutos.
- B. Superfícies com acabamento de exigência média e faces inferiores de trechos acabados.
- C. Igual ao item b, porem com maiores exigências.

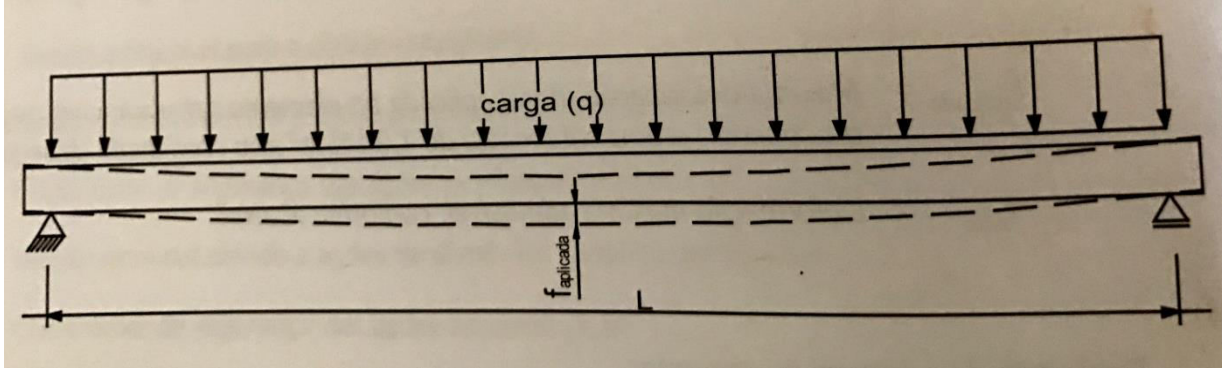
Os valores intermediários deverão ser interpolados linearmente, conforme figura 5:

Figura 5 – Tolerância de deformação de fôrmas e escoramentos

Fonte: Manual SH de Fôrmas e Escoramentos (2008)

Entende por vão entre apoios (L) a distância entre os apoios de cada elemento estrutural do escoramento ou fôrma estudada, conforme a figura 6:

Figura 6– Esquema de deformação aplicada em função da distância entre apoios



Fonte: Manual SH de Fôrmas e Escoramentos (2008)

3 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS USADOS PARA FÔRMAS E ESCORAMENTOS

Dado o material a ser utilizado (madeira, aço, concreto armado, alumínio) e suas propriedades, os princípios de resistência dos materiais e mecânica dos sólidos são empregados para verificar se a peça é capaz de resistir aos esforços.

Por exemplo, pode-se determinar o ponto mais solicitado e obter uma seção capaz de resistir aos esforços neste ponto. Se for economicamente viável esta seção, é empregada para toda peça. Para elementos mais complexos, pode ser necessário analisar vários pontos e variar a seção empregada, ou mesmo efetuar o dimensionamento da peça como todo.

Tabela 9 - valores básicos que podem ser aplicados quando não houve melhor conhecimento do material usado

| Material | Módulo de Elasticidade E em kgf/cm² | Tensão admissível/compressão e flexão σ em kgf/cm² | Tensão admissível para cisalhamento (τ) em kgf/cm² |
|-----------------|---|--|--|
| Madeira | 100.000 | 87 | 30 |
| Compensado | 70.000 | 68 | - |
| Aço | 2.100.00 | 1.400 | 900 |
| Alumínio | 700.000 | 1.000 | - |

Fonte: Manual SH de Fôrmas e Escoramentos (2008)

3.1 Madeira

As madeiras indicadas para uso em estruturas de fôrmas e escoramentos são:

- a) Madeira em bruto – são peças serradas ou não, cuja utilização deve ser feita de acordo com a NBR 7190:1997. Peças simplesmente aparelhadas.

- b) Madeira industrializada – são peças fabricadas industrialmente com controle de umidade, temperatura, tolerâncias e tipos de espécie de madeira com propriedades físicas e mecânicas conhecidas e ensaiadas. Podem ser chapas de madeira compensada (NBR 9532:1986) ou vigas de madeira industrializadas (madeira tratada, colada e prensada, de alma maciça, compensada, aglomerada ou treliçada).

3.1.1 Madeira em bruto (Serrada)

As madeiras utilizadas na construção têm muitas variações. Durante anos, a madeira serrada de Pinho Brasileiro ou Pinho do Paraná foi a mais utilizada na confecção de fôrmas, mas, devido ao grande consumo, a disponibilidade diminuiu rapidamente, o que acarretou o aumento do seu custo.

Logo, foi necessário que o mercado de construção estudasse novos sistemas de fôrmas que utilizassem diferentes tipos de madeira. Vários tipos de madeira são, desde então, cada vez mais aceitos, entre estes estão o cedro, o *Pinus Eliotis* e a Araucária.

3.1.1.1 Propriedades físicas e mecânicas

As principais características físicas da madeira, importantes para o dimensionamento do controle de qualidade das fôrmas e para utilização em construção em geral, são: densidade, umidade e retratibilidade.

a) Densidade

Segundo Hellmeiste (1982 apud DIAS; LAHR, 2004) apud NAZAR (2007), a densidade é a propriedade física mais significativa para as madeiras utilizadas na construção civil. Seu conceito físico mais simples é a quantidade de massa contida em determinado volume ao determinado teor de umidade.

Shimoyama e Barrichelo (1991) apud NAZAR (2007), apresentam a densidade como um dos mais importantes parâmetros para avaliação das características mecânicas da madeira.

Longsdon (2002) apud NAZAR (2007), afirma que a densidade da madeira pode ser considerada com qualquer percentual de umidade, porém a NBR 7190/97 sugere a padronização em 12%. Sendo a densidade aparente a 12% de umidade, esse equilíbrio é atingido nas combinações de 20°C de temperatura e 65% de umidade relativa do ar.

Hellmeiste (1983) apud NAZAR (2007) concluiu que existe uma relação linear entre a densidade e a resistência a compressão paralela às fibras, para espécie Pinho do Paraná.

A densidade básica é definida como a relação entre a massa completamente seca a 0% de umidade e volume saturado com água.

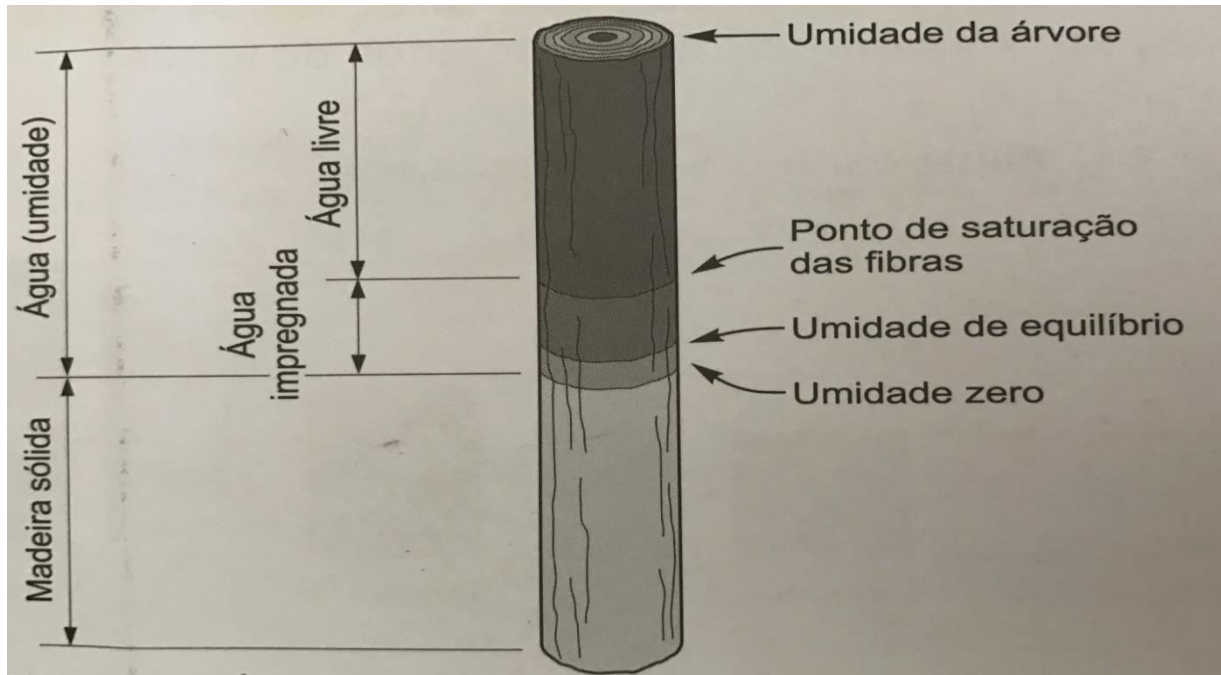
Segundo Dias e Lahr (2004), apud NAZAR (2007), a relação entre a densidade e os demais parâmetros físicos indicam um ajuste adequado ao modelo de potência, portanto, não linear, com as propriedades físicas das madeiras.

b) Umidade

O teor de umidade assume papel de importância para a correta utilização industrial das madeiras, senão mais importante, pois o processo de secagem influi decisivamente nas dimensões finais a serem utilizadas.

A água na madeira é composta basicamente em livre e água de impregnação, conforme demonstrado na figura 7.

Figura 7 – Água livre e água de impregnação na madeira



Fonte: CALIL JÚNIOR (2001) apud NAZAR (2007)

O teor de umidade corresponde ao mínimo de água livre a ao máximo de água de impregnação, que é denominado ponto de saturação das fibras.

Para as madeiras brasileiras, situa-se em torno de 25%, sendo que até este percentual pouco dano ocorre no material, a partir deste ponto, a perda de umidade é acompanhada de retração, com as respectivas reduções de dimensões e aumento de resistência.

Em termos de cálculo estrutural, a NBR 7190:1997 especifica a umidade de 12% como referência para os ensaios e valores de resistência.

A NBR 7190:1997 recomenda a correção do F_u de resistência e do E_u do módulo de elasticidade para os valores de umidade de 12%, conforme segue:

$$F_{12} = F_{u\%} (1 + 3 (U\% - 12) / 100) \text{ (equação 1)}$$

F_{12} = resistência corrigida para umidade 12%

$F_{u\%}$ = resistência para umidade $U\%$

$U\%$ = teor de umidade

$$E_{12} = E_{u\%} (1 + 3 (U\% - 12) / 100) \text{ (equação 2)}$$

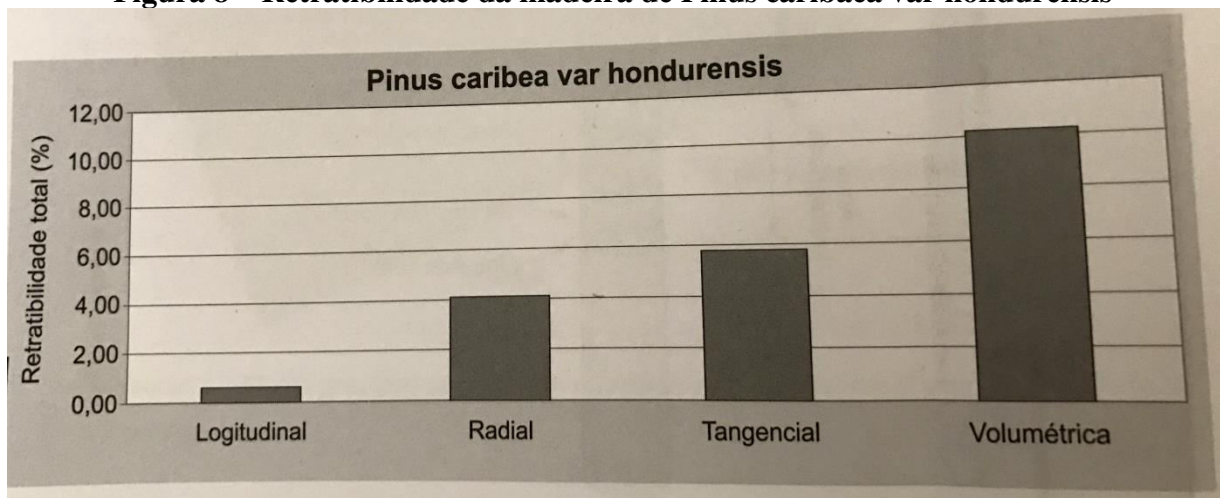
E_{12} = Módulo de elasticidade corrigido para umidade 12%

$E_{u\%}$ = Módulo de elasticidade para umidade $U\%$

c) Retratabilidade

Segundo Rezende, Saglietti e Guerrini (1995) apud NAZAR (2007), a madeira tem comportamento anisotrópico com variação de retração nas três direções. A figura 8, mostra uma madeira de *Pinus Caribaea* Var *Hondurensis* com 8 anos de idade.

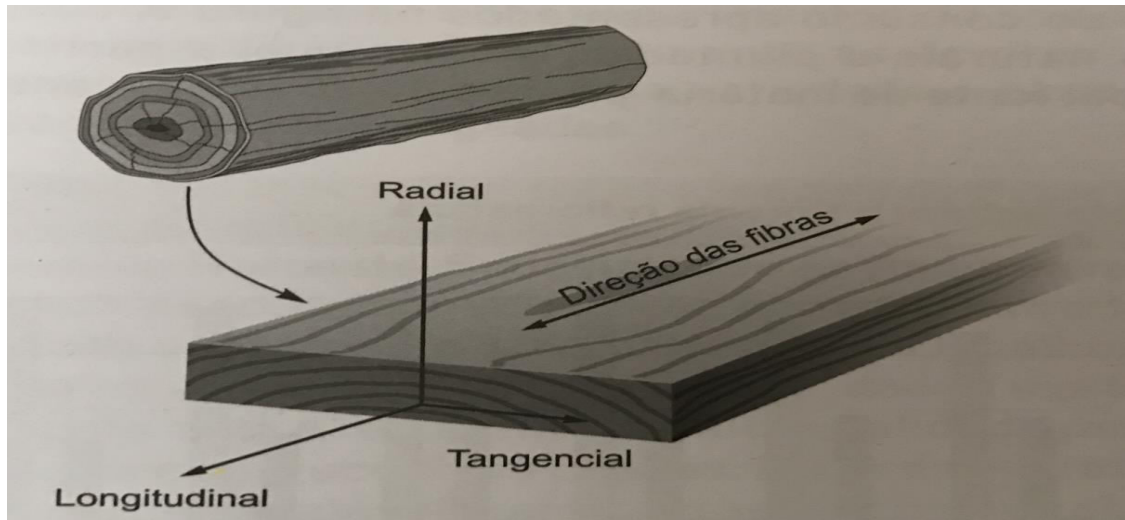
Figura 8 – Retratabilidade da madeira de *Pinus caribaea* var *hondurensis*



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

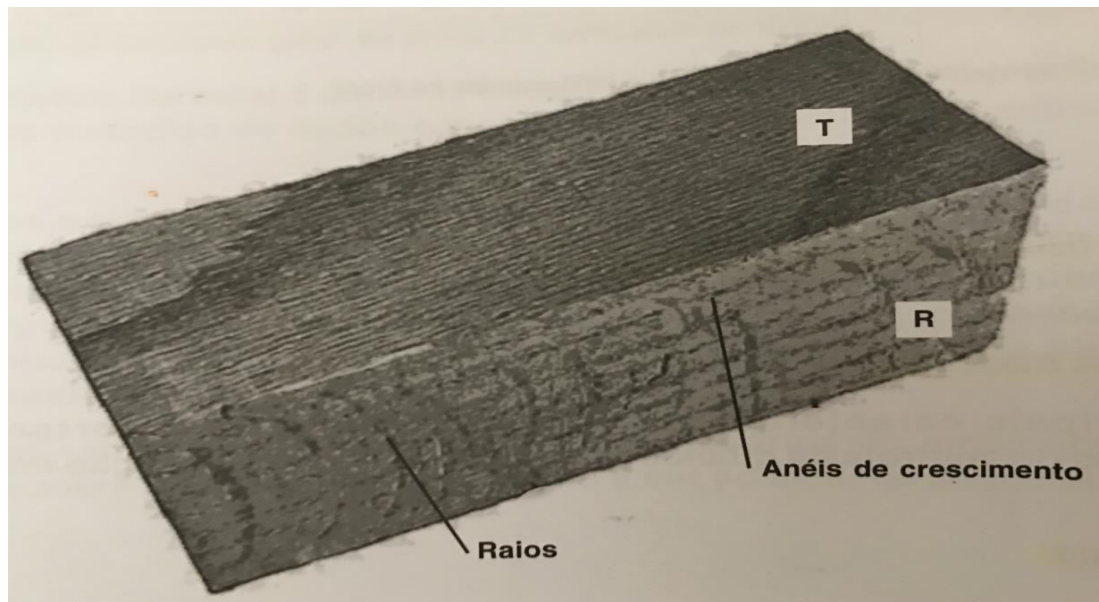
Trata-se de um material ortotrópico, ou seja, que tem comportamento diferente em relação à direção das fibras e apresentam os três eixos perpendiculares entre si, considerando a posição das camadas de crescimento dentro da peça: o longitudinal, o radial e o tangencial, como mostra a figura 9 e 10.

Figura 9 – Eixos principais de uma peça de madeira em relação à direção das fibras



Fonte: CALIL JÚNIOR (2001) apud NAZAR (2007)

Figura 10 – Planos principais de corte com relação às camadas de crescimento



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

É importante conhecer as propriedades físicas e mecânicas da madeira a ser utilizada, para aplicar os dados corretos nos cálculos.

Tabela 10: Propriedades da madeira

| Madeira | Massa específica aparente - (p) em kgf/m³ | Módulo de Elasticidade longitudinal - (E) em kgf/cm² | Tensão admissível tração/compressão e flexão σ em kgf/cm² | Tensão admissível para cisalhamento (τ) em kgf/cm² |
|------------------|---|--|---|--|
| Pinho Brasileiro | 580 | 152.250 | 87 | 8,8 |
| Pinus Eliotis | 560 | 118.890 | 68 | 12,9 |
| Eucalipto | 918 | 128.130 | 157 | 7,4 |

Fonte: Manual SH de Fôrmas e Escoramentos (2008)

3.1.2 *Madeira industrializada (Compensado)*

Os compensados de madeira possuem este nome por apresentarem, em função da distribuição das lâminas que os compõem, uma compensação na distribuição de tensões, quando solicitado.

O posicionamento cruzado das lâminas proporciona ao painel de compensado uma excelente resistência mecânica, tornando-o à prova de movimentações de contração e expansão.

A madeira do tipo compensado é um dos materiais mais utilizados para a fabricação das fôrmas. As chapas compensadas substituem as tradicionais tábuas de madeira serrada, destacando-se pela qualidade e economia, possibilitando várias utilizações.

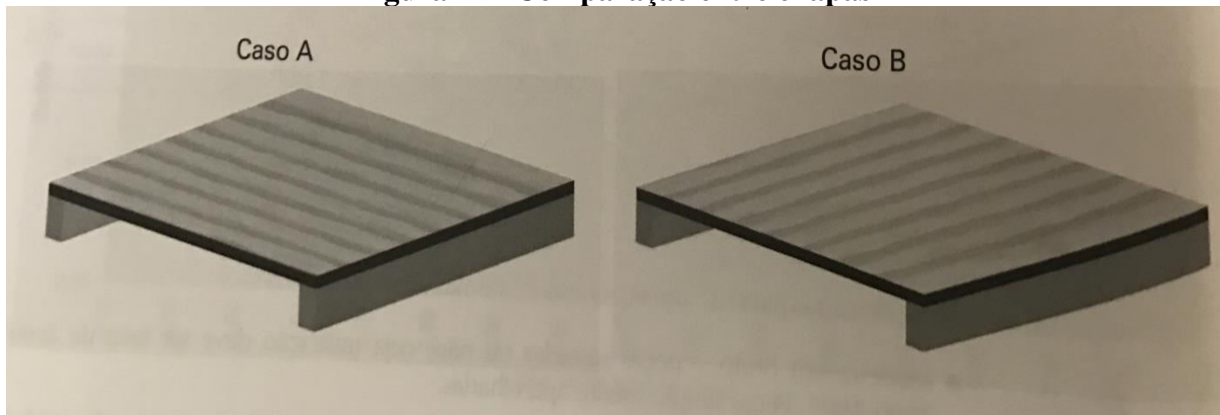
As chapas compensadas são constituídas por lâminas de madeira, de espessuras entre 1 mm a 4 mm, dispostas com direção de fibras perpendiculares entre si, normalmente constituídas de número ímpar de lâminas. As lâminas são ligadas, umas às outras, através de cola à base de resina fenólica, resistentes a água.

O compensado poderá ter acabamento resinado ou plastificado. O acabamento das chapas não interfere nas características mecânicas do compensado, porém as chapas plastificadas permitem melhor acabamento, menor permeabilidade e, conseqüentemente, maior número de utilizações.

As características mecânicas dos compensados podem variar conforme a espessura e número de lâminas. A resistência à flexão de uma chapa dependerá da direção em que estiverem trabalhando as fibras da camada externa.

Nas figuras abaixo, verifica-se no caso A, que a chapa terá mais resistência para cargas que a situação do caso B.

Figura 11 - Comparação entre chapas



Fonte: Manual SH de Fôrmas e Escoramentos (2008)

Portanto, recomenda-se, sempre que possível, trabalhar usando compensado com as fibras externas no sentido vão (caso A), pois permitirá deformações e flechas menores, se comparadas com o caso B.

A responsabilidade do controle das características mecânicas, qualidade e dimensionamento das fôrmas é do fornecedor. Adotaremos como padrão para todos os compensados, as características mecânicas:

Tensão admissível à flexão $\rightarrow \sigma_{\text{flexão}} = 68 \text{ kgf/m}^2$

Módulo de elasticidade (paralela às fibras) $\rightarrow E = 70.000 \text{ kgf/m}^2$

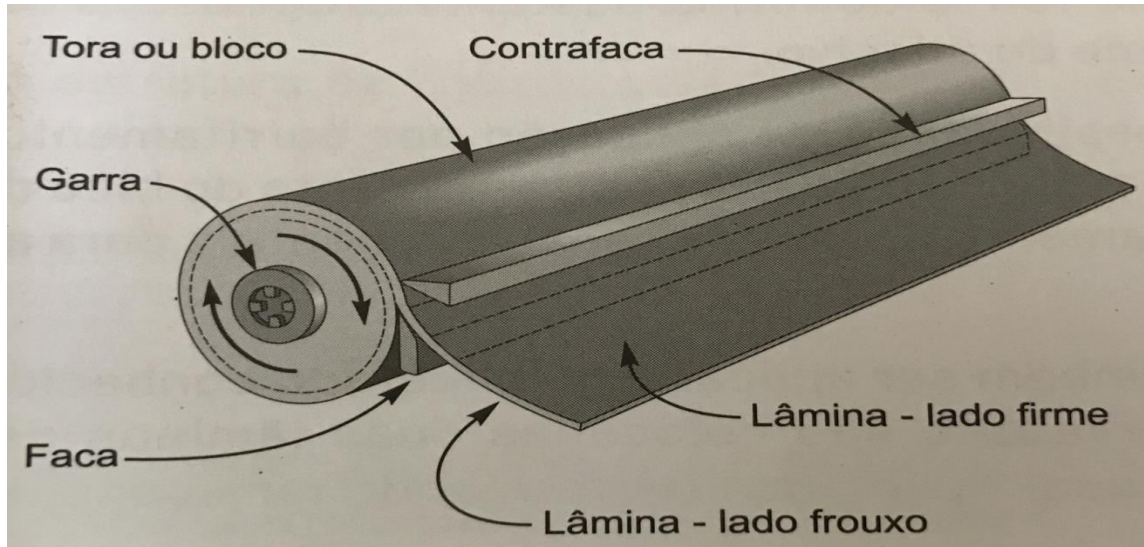
3.1.2.1 Processo de fabricação

O processo de fabricação tem início na preparação da tora da qual vão ser retirada as lâminas, iniciando com a remoção da casca, a fim de não se danificar a faca do torno de laminação.

Inicialmente, as toras são condicionadas em vapor ou em água quente para torná-las mais moles. O tempo necessário para o amolecimento varia de acordo com a espécie do material.

A maneira mais tradicional de se obter lâminas é por meio de torno rotativo, conforme demonstrado na figura 12, a seguir.

Figura 12 – Torno rotativo para extração de lâminas



Fonte: WATAI (1988) apud NAZAR (2007)

As lâminas possuem necessariamente uma face firme e a outra mais fraca, sendo que à parte sujeita a pressão contra a faca é a firme. As normas internacionais indicam que a face firme é a que deve ficar sujeita lixamento.

Uma seleção do cerne e do albarno é realizada no setor de lâminas verdes, pois a camada externa (albarno) contém mais umidade e requer maior tempo de secagem, o que deverá ser observado.

O próximo passo é a secagem, onde o teor de umidade será previamente determinado. Modernamente, a secagem é feita por meio de rolos, onde as lâminas são transportadas até a secagem final.

A presença do ar úmido no interior da câmara de secagem é essencial para se promover no interior uma secagem uniforme, mantendo os poros da madeira abertos. O baixo teor de umidade na câmara de secagem pode, muitas vezes, provocar o efeito de encruamento ou endurecimento da superfície da lâmina e conseqüentemente poderia causar sérios problemas na operação de colagem. As lâminas secas retiradas da secadora devem ser selecionadas e empilhadas separadamente.

A montagem de compensados de grandes dimensões é feita por meio da junção de tiras mais estreitas, que são colocadas ou costuradas como máquinas específicas para tal fim. Nessa fase também são eliminados defeitos como nós e furos de bicho, que são substituídos por lâminas sadias.

A aplicação dos adesivos pode ser feita de várias maneiras. As mais comuns são por rolos ou por borrifamento.

3.1.2.2 Rolos

A máquina é composta de dois rolos de aço revestidos com borracha ranhurada. Os ajustes dos rolos são feitos de forma bastante criteriosa, e são importantes para uma distribuição uniforme do adesivo.

Existe ainda a possibilidade de aplicação por borrifamento ou spray, onde a linha de produção é bem automatizada. O posicionamento do bico do revólver a pressão e a velocidade de deslocamento da lâmina é fundamental para a aplicação adequada do adesivo.

O adesivo pode também ser aplicado pelo método conhecido como “cortina”, ou seja, abaixo de um reservatório são colocadas duas lâminas de aço formando uma abertura entre elas, pela qual flui o adesivo, formando uma espécie de cortina.

Em qualquer das metodologias utilizadas o fator tempo para ser o principal, pois o tempo de cura dos adesivos deve ser rigorosamente observado. Antes de ser levado para prensa quente, e para facilitar o seu transporte, o compensado passa por uma pré prensagem a frio, que permite uma formação consolidada das lâminas.

A temperatura de prensagem para os compensados tradicionais varia de 100°C até 160°C, em função do adesivo que foi aplicado e da pressão de 12 kg/cm² a 15 kg/cm². O tempo de prensagem varia da função espessura do compensado.

Após a prensagem é feito o esquadrejamento, o lixamento, reparos, a classificação, o armazenamento e a expedição.

3.1.2.3 Preparação para colagem

No processo de fabricação dos compensados a preparação para a colagem das madeiras merece destaque especial, pois na maioria das vezes os defeitos aparecem porque o substrato (madeira) foi mal preparado.

O teor de umidade, como será descrito no item seguinte, é primordial, pois o seu excesso promove alta penetração do adesivo, influencia a sua viscosidade, diminui a superfície de contato e prejudica a colagem final. E a escassez de umidade dificulta a penetração do adesivo, diminuindo a sua ancoragem.

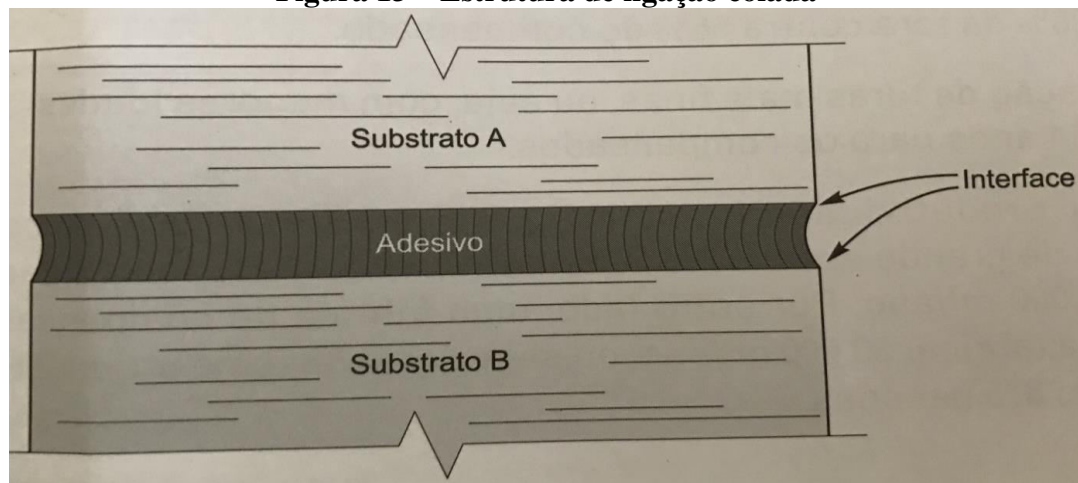
A secagem e o seu condicionamento são considerados bons quando o seu processo não propicia o aparecimento de tensões ou encruamento, evitando empenamentos e trincas.

No caso de lâminas, as tensões internas não são consideradas um problema para a colagem, como nas madeiras serradas. Porém, se a umidade for muito alta, promoverá o aparecimento de bolhas ou bolsas de vapor durante a prensagem a quente, induzindo a falhas na colagem.

A preparação das superfícies é essencial e começa com a escolha das ferramentas na usinagem, que devem ser bem afiadas e livres de marcas de facas, fibras soltas, depressões etc. a usinagem deve ser feita pouco antes da colagem, para manter as superfícies livres de contaminação e das variações de umidades.

Basicamente, a estrutura da ligação colada pode ser resumida no esquema da figura 13, abaixo:

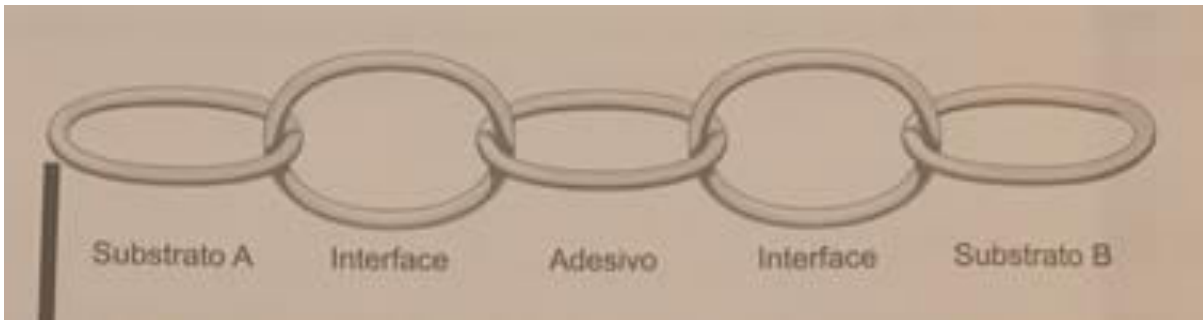
Figura 13 – Estrutura de ligação colada



Fonte: WATAI (1988) apud NAZAR (2007)

Segundo WAITAI (1988) apud NAZAR (2007), a estrutura pode ser representada como uma corrente de 5 elos, como mostra a figura 14, a seguir. Se um dos elos estiver fraco, todo o processo estará prejudicado.

Figura 14 – Estrutura de ligação colada



Fonte: WATAI (1988) apud NAZAR (2007)

3.1.3 Adesivos

O princípio da adesão pode ser resumido da seguinte forma: dois corpos eletricamente neutros podem sempre aderir entre si, desde que a distância entre eles seja menor do que 1 milionésimo de milímetro. Na prática, porém, em função da rugosidade, isso é quase sempre impossível.

Essa afirmação pode ser verificada por um experimento simples: tomam-se, por exemplo, duas placas metálicas ou de vidro e um pedaço de uma película de polietileno.

Inicialmente, verifica-se que mesmo o melhor adesivo existente no mercado não permite colar o polietileno ao metal ou ao vidro. Mas, ao se colar o filme plástico em entre as chapas de vidro ou de metal e se fixar o sistema com grampos, submetendo-o ao aquecimento até o amolecimento do plástico, verifica-se que após o resfriamento ocorre uma adesão resistente aos esforços mecânicos.

As forças entre o vidro e o polietileno são as chamadas força de “Van der Waals”. Na experiência descrita, o escoramento decorrente do aquecimento do polietileno promove uma ancoragem entre as superfícies.

Quase todos os adesivos hoje empregados são substâncias macromoleculares, isto é, formadas por moléculas gigantes e dotadas de propriedades ácidas, básicas ou anfóteras, conforme sua composição química. Um adesivo ácido liga-se mais fortemente a uma superfície básica, podendo, portanto, ser utilizado para a obtenção de uma ligação de alta resistência.

Deve-se também levar em consideração as propriedades mecânicas do próprio adesivo, que uma vez curado ou polimerizado deve ter suas propriedades mecânicas similares as do substrato. Existem casos em que sólidos flexíveis foram colocados com adesivos, tornando-se duros e quebradiços quando solidificados.

Quando essa junta é submetida a esforços de flexão, a rigidez do adesivo poderá torná-lo incapaz de absorver as tensões a que ele está sujeito e, conseqüentemente, ele se romperá.

3.1.3.1 Classificação dos adesivos

Os adesivos podem ser classificados de três modos principais:

- a) origem dos componentes primários;
- b) temperatura de cura;
- c) resistência à umidade.

a) Classificação por origem:

Os adesivos podem ter origem animal, de amido, caseína e de albumina proteína vegetal.

O grupo sintético inclui os adesivos de usinas com ureia, resorcinol, fenol, melamina e polivinil.

b) Classificação por temperatura de cura:

Com a relação à temperatura de cura, os adesivos podem ser classificados em:

- alta temperatura, aqueles cuja temperatura de cura é maior que 90°C;
- média temperatura, aqueles cuja temperatura de cura situa-se entre 30°C e 90°C;
- baixa temperatura, aquelas cuja temperatura de cura vai até 30°C.

c) Classificação por resistência à umidade

Esta classificação é considerada a mais significativa do ponto de vista das reais utilizações do mercado de madeiras e se divide basicamente em três categorias: à prova de água, resistente à umidade e não resistente à umidade.

3.1.3.2 Principais adesivos para fabricação de chapas de madeira para fôrmas de concreto.

a) Adesivos ureia-formaldeído

Esses adesivos podem ser curados à temperatura ambiente de 20°C, são encontrados em forma de pó ou líquido e podem ser usados com ou sem incorporação de extensores (substâncias adicionadas ao adesivo para facilitar o espalhamento), catalisadores ou cargas inertes.

Eles também podem ser curados em prensas a temperaturas mais altas, de 100°C até 130°C, ou ainda com formulações especiais, por meio de alta frequência ou outras formulações específicas.

Os adesivos à base de ureia, quando isentos de extensores, possuem boa resistência à água e umidades relativamente altas, porém são sensíveis a temperaturas acima de 65°C.

Portanto, não são recomendados para utilização em exteriores, como é o caso das fôrmas de concreto.

b) Adesivos fenol-formaldeído

Os adesivos à base de resina fenol-formaldeído são fornecidos em forma de pó, para serem misturados com água ou outros solventes, e também estão disponíveis em forma de película, para facilitar as operações de mistura e espalhamento.

Na forma líquida, são normalmente avermelhados e escuros e para a cura necessitam de temperatura elevada, igual ou superior a 140°C, mas também existem formulações especiais para aplicação específicas, capazes de criar condições de cura a uma temperatura ao redor de 23°.

Os adesivos fenol-formaldeído são os mais usados na colagem de compensados utilizados em fôrmas de concreto para construção civil. Seu tempo de estocagem é de 6 a 12 meses, e alguns tipos são altamente indicados para climas tropicais.

O principal emprego de adesivos a base de resinas fenólicas refere-se à produção de compensados a prova d'água, incluindo quilha ou caso de navios e outros produtos ou outro material inerte como enchimento, mais para juntas coladas de alta durabilidade este tipo de material (enchimento) deve ser retirado da formulação.

Recentemente, quantidades consideráveis de compensados de coníferas de uso inferior estão sendo fabricadas com resinas fenólicas com a adição de quantidades excepcionais de extensores e materiais de enchimento, como: farinha de casca de nozes, pó de serra de madeira, pó de sangue animal solúvel, etc. estes adesivos fenólicos tem substituído colas convencionais a base de amido, por várias décadas usadas para compensados interiores.

As formulações de adesivos fenólicos podem ser diversificadas, dentro de certos limites, para cada processo de colagem e tipo de produto a ser obtido. Os ciclos de prensagem a quente podem ser controlados, no mínimo em parte, pela própria quantidade e tipo de catalisador e pelo processo empregado na obtenção da resina.

3.1.3.3 Preparação da superfície – efeito da umidade da madeira sobre a adesão

A umidade da madeira é a responsável pela maior ou menor fluidez do adesivo e a sua distribuição uniforme sobre a superfície.

O fluxo, a transferência e a penetração do adesivo dependem, portanto, da umidade da madeira, além da quantidade de cola, tempo de montagem, espécie de madeira, temperatura e pressão.

Quando há pouca umidade, o fluxo pode não ser suficiente para a transferência do adesivo e a penetração dele será insuficiente. O excesso de umidade, por sua vez, acarreta o abaixamento da viscosidade da cola, ocasionando excessiva penetração do adesivo nos poros. Neste caso, a quantidade do adesivo será insuficiente para formar um filme ininterrupto e a qualidade ficara fraca.

Para se determinar a umidade correta da madeira, deve-se conhecer a quantidade do solvente (água) dissolvida na cola e a quantidade de cola a ser aplicada.

Para obter-se uma colagem eficiente, é fundamental que o adesivo tenha a propriedade de fluir uniformemente sobre a superfície, de modo a assegurar a sua transferência de uma superfície a outra, a sua penetração na madeira e o seu endurecimento.

Esses processos de fluxos, transferência e penetração do adesivo dependem essencialmente da umidade da madeira, além de outros fatores como viscosidade, quantidade de cola, tempo de montagem, espécie de madeira, temperatura e pressão.

3.1.3.4 Requisitos de umidade recomendados para vários tipos de adesivos

As formulações que se seguem são indicadas pelos fabricantes de adesivos. Porém, dada a grande variação de produtos e marcas disponíveis no mercado, sugere-se que o fabricante seja consultado antes de sua aplicação.

a) Resinas ureia- fenol-formaldeído

Dependendo do catalisador ou do endurecedor usado, esses adesivos podem ser de cura à temperatura ambiente ou de cura à alta temperatura. As resinas de ureia de cura a alta temperatura são usadas quase que exclusivamente na manufatura de compensados de uso interior.

Recomenda-se que o teor da umidade das lâminas esteja entre 6% e 8%. Para compensados com alma de madeira sólida, é satisfatória uma umidade de 5% a 7%.

b) Adesivos de resorcinol e resorcinol-fenol-formaldeído

Por causa de sua excelente durabilidade, esses adesivos são usados como colas de assentamento nas industriais navais e de laminados de madeira. Eles são de cura à temperatura ambiente, mas em alguns casos utilizam-se temperaturas até 90°C.

Os requisitos de umidade da madeira não são críticos, mas devem ser controlados de acordo com as condições de uso às quais o produto será exposto.

A umidade da madeira deve estar entre 6% e 12%. Quando componentes espessos estão sendo colocados, é importante evitar variações de umidade entre vários componentes.

c) Adesivos fenol-formaldeído

Existem dois tipos principais: cura à temperatura ambiente e cura a quente.

Os primeiros, catalisados por ácidos, são usados principalmente em assentamentos. Assim como para os adesivos resorcinol e resorcinol-fenol-formaldeído, o teor de umidade não parece ser um fator crítico. Sugere-se que o mesmo seja mantido entre 6% e 12%.

Os adesivos fenólicos de cura a alta temperatura são usados quase que exclusivamente na manufatura de compensados de uso exterior. Quando se usa o tipo convencional de resina fenólica (em pó ou líquido), a umidade das lâminas de madeira de alta densidade deve se situar entre 4% e 7%, enquanto as de baixa densidade deve ficar entre 3% e 5%.

Quando a resina fenólica é usada na forma de película (Tego filme), a umidade das lâminas que formam a face e o fundo deve estar compreendida entre 5% e 6%, com os interiores (“cross bands”) entre 8% e 12% nos painéis com lâminas de face desenhadas. Nos painéis convencionais, o intervalo da umidade para todas as lâminas está na faixa de 5% a 10%.

d) Condições para colagem

Testes comparativos de laboratórios demonstram que a superfície de madeira para colagem deve ser lisa, bem plainada, isenta de irregularidades, preparada com ferramentas adequadas e devidamente afiadas, a fim de se obter juntas resistentes.

A superfície para colagem não deve ser intencionalmente áspera, nem preparada por ferramentas denteadas ou lixas grossas, com base na falsa crença de que superfícies rugosas são melhores. Estudos de penetração de cola na madeira também tem demonstrado que é improvável haver qualquer benefício advindo de uma superfície rugosa.

Preferencialmente, o preparo deve ser feito pouco antes da operação de colagem, para que as superfícies se mantenham limpas e sem as distorções ocasionadas pela variação de umidade.

Para se obter juntas resistentes, as peças devem ter espessuras uniformes, para promoveres distribuição regular da pressão durante a colagem.

3.1.4 Conectores

3.1.4.1 Ligações com pregos

As ligações com pregos são, sem dúvidas, as mais usuais em caso de fôrmas para concreto, sendo rara a necessidade do uso de outros conectores.

Os pregos são fabricados com arame de aço doce, com tamanhos variados. As bitolas comerciais antigas, porém, ainda são muito usadas no Brasil e identificam os pregos por dois números. O primeiro representa diâmetro em fieira francesa, ou seja, o diâmetro do arame que originou o prego, e o segundo mede o comprimento dele em linhas portuguesas.

PFEIL, W. e PFEIL, M. (2003) apud NAZAR (2007), apresentam uma tabela com as bitolas métricas em que o primeiro número representa o comprimento em milímetros, e o segundo número em décimos de milímetro, representa o diâmetro (tabela 11).

Tabela 11 – Dimensões de pregos, bitolas comerciais

| Diâmetro (em décimos de milímetro) | Comprimento (mm) | Fieira francesa x comprimento do arame (linhas portuguesas) |
|---|-----------------------------|--|
| 44 | 100 | (20x48) |
| 44 | 94 | (20x45) |
| 49 | 84 | (21x42) |
| 44 | 84 | (20x42) |
| 44 | 80 | (20x39) |
| 39 | 80 | (19x39) |
| 44 | 72 | (20x36) |
| 39 | 72 | (19x36) |
| 34 | 72 | (18x36) |
| 34 | 68 | (18x33) |
| 39 | 68 | (19x33) |
| 30 | 68 | (17x33) |

Fonte: PFEIL, W; PFEIL, M. (2003) apud NAZAR (2007)

Para a correta aplicação dos pregos como elemento de ligação, algumas disposições construtivas devem ser observadas:

Para evitar o fendilhamento, a NBR 7190/97 recomenda que seja feita uma pré furação em estruturas definitivas, com peças cujo diâmetro obedeça ao seguinte critério, em função do tipo de madeira:

$d_o = 0,85 \text{ def}$ em coníferas – macias (softwoods)

$d_o = 0,98 \text{ def}$ em dicotiledôneas – duras (hardwoods)

No caso de estruturas provisórias, como é o caso das fôrmas, a norma admite a pregação sem pré-furação, desde que seja observadas as seguintes condições:

- a) uso de madeira leve ($p < 600 \text{ kg/m}^3$);
- b) diâmetro do prego $d < 1/6$ da espessura da peça mais fina a ser pregada
- c) uso de madeira leve ($p < 600 \text{ kg/m}^3$);
- d) pregos espaçados $> 10 d$

Regra geral, o diâmetro do prego não deve exceder $1/5$ da menor espessura atravessada.

3.1.4.2 Dimensionamento dos pregos

O critério do dimensionamento no caso de fôrmas para concreto deve seguir a fórmula das tensões admissíveis:

D = diâmetro do prego;

$R_d = 4,5 d^{3/2}$, para madeiras com $p > 600 \text{ kg/m}^3$, que dão valores mais conservadores e adequados para as condições usuais de obra, respeitados os espaçamentos da norma NBR 7190/97.

3.1.5 *Revestimentos*

Os revestimentos das chapas de compensado, chamados no mercado de “plastificadas”, são compostos do tego-filme, que nada mais é do que uma resina fenol-formaldeído modificada com desmoldante e formulada com uma quantidade maior de sólidos, seja para impregnação diretamente sobre os compensados resinados, seja para a impregnação do papel tego-filme para produção dos plastificados.

Pelo seu poder impermeabilizante, as chapas apresentam melhor rendimento para o uso em fôrmas de concreto, não só pela facilidade na desenforma, mais também pela impermeabilização da superfície.

Algumas características mais comuns:

- Aparência – líquido viscoso âmbar;
- Viscosidade a 25°C – 400-700 cP;
- Sólidos de 60-64%.

As recomendações indicam que o armazenamento deve ser feito em câmara refrigerada a uma temperatura de 17°C ou em local seco, coberto e ventilado, a uma temperatura de 25°C. No primeiro caso a vida útil é de 60 dias e no segundo, de 20 dias.

3.1.6 Aço

São elementos metálicos podem se forjados, laminados, fundidos ou fabricados a partir de chapas soldadas, com funções de acessórios ou componentes das estruturas dos sistemas de fôrmas e escoramentos.

As características do aço SAE 1020 para elaboração dos cálculos da resistência das peças são:

- a) Limite de ruptura: $f_u = 4.550 \text{ kgf/cm}^2$
- b) Limite de elasticidade: $f_y = 2.140 \text{ kgf/cm}^2$
- c) Módulo de elasticidade: $E = 2,1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
- d) Tensão admissível: $\sigma_{\text{tração}} = \sigma_{\text{flexão}} = \sigma_{\text{compressão}} = 1.400 \text{ kgf/cm}^2$
 $\tau_{\text{cisalhamento}} = 900 \text{ kgf/cm}^2$

Dependendo da quantidade de carbono e da porcentagem das outras ligas, o aço pode apresentar diferentes valores de resistência para os esforços mecânicos. Os valores admissíveis de resistência a estes esforços adotados aqui são para aço de baixo teor de carbono (SAE 1020), e é aplicado um coeficiente de segurança para prevenir incertezas quanto a propriedades dos materiais, esforços aplicados, variações, etc.

3.1.7 Alumínio

As características do alumínio permitem que ele tenha uma diversa gama aplicações. Por isso, é um dos metais mais utilizados no sistema construtivo.

Por se tratar de um material leve, durável e bonito, o alumínio mostra uma excelente performance e propriedades superiores na maioria das aplicações.

As características do alumínio que podem ser adotadas para a elaboração da resistência das peças são:

- a) Tensão admissível: $\sigma_{adm} = 1.00 \text{ kgf/cm}^2$
- b) Módulo de elasticidade $E = 700.000 \text{ kgf/cm}^2$

3.1.8 Outros materiais

Materiais como plásticos, papelão e outros compostos, podem ser utilizados como fôrmas. Sua utilização deve seguir as normas ou documentos técnicos de cada fabricante, comprovada por ensaios de laboratórios de reconhecida idoneidade.

4 FÔRMA

São estruturas provisórias que servem para moldar o concreto fresco, resistindo a todas as ações provenientes das cargas variáveis resultantes das pressões do lançamento do concreto fresco, até que o concreto se torne autoportante.

As fôrmas podem ser identificadas de acordo com o material do qual são compostas. Um sistema de fôrmas é o conjunto de materiais e equipamentos que são utilizados para concebê-las e executá-las.

Os sistemas mais usuais, principalmente em edifícios, são os de madeira.

O critério para utilização de um ou de outro depende do tipo de peça ser concretada, do prazo para a sua execução, da sua repetitividade, e até da sua disposição econômica da empresa de investir em equipamentos em curto prazo, visando ao aproveitamento de longo prazo.

Uma perfeita sintonia entre o projetista da estrutura de concreto, o arquiteto, o construtor e o projetista de fôrmas torna o processo eficiente e com resultados técnicos e econômicos consideráveis.

Existem, no entanto, diversos materiais utilizados em fôrmas, de maneira geral, não se pode dizer que um tipo de fôrma ou material é melhor ou pior do que outro, havendo a necessidade da análise dos fatores citados para a correta indicação para a sua aplicação, em função do custo-benefício esperado.

4.1 Integralmente de madeira

As fôrmas de madeira são as mais utilizadas em edifícios na maioria dos Estados brasileiros e normalmente são constituídas de painéis de madeira compensado, tábuas e pontalotes de madeira serrada, ou unicamente com estes dois últimos, conforme demonstrado na figura a seguir:

Figura 15 – Sistema de fôrmas integralmente em madeira



Fonte: Hi Lite Systems (2006) apud NAZAR (2007)

Quando bem projetadas e executadas, apresentam excelente resultado técnico e econômico além de já estarem no cotidiano da mão-de-obra existente.

O seu correto dimensionamento não deve se restringir ao estático, mas avançar na escolha dos materiais em função do seu número de utilizações (repetições).

Outra vantagem da aplicação da fôrma de madeira é a sua versatilidade, vez que se adéqua com maiores facilidades a várias tipologias geométricas inerentes à estrutura em concreto armado a ser moldado.

4.2 Integralmente metálicas

As fôrmas metálicas podem ser de aço, alumínio ou com estrutura de aço e painéis madeira (mistas).

São empregadas em lajes, pilares, vigas e cortinas e mais uma vez o componente prazo é decisivo para se adotar ou não a solução, sempre partindo da premissa de que as empresas construtoras não adquirem o equipamento, mas optam por locá-lo.

Para pilares, esse sistema tem excelente funcionamento quando as lajes são planas, ou seja, não possuem vigas, que chegam à sua seção. Caso contrário, são necessárias adaptações custosas e quase sempre com resultados decepcionantes, como mostra a figura 16.

Figura 16 – Fôrmas integralmente metálicas



Fonte: Hi Lite Systems (2006) apud NAZAR (2007)

O mesmo raciocínio dos pilares deve ser utilizado para as vigas. Contudo, o tamanho das vigas precisa ser múltiplo do módulo metálico, para evitar adaptações em madeira, que têm as mesmas consequências dos pilares.

Para lajes, existem excelentes tipos de painéis, cujas medidas devem ser adaptadas aos vãos do concreto com painéis de madeira. Nesse caso, o trabalho se apresenta mais fácil e com melhores resultados.

No caso de cortina de concreto, quando elas têm seus lados livres antes de serem aterrados, dificilmente se encontra uma solução melhor, pois a execução é rápida e pode ser feita com módulos (painéis) que se sucedem na direção vertical, com excelentes resultados.

Então, o uso de painéis metálicos facilita a montagem, é mais seguro e, dependendo da aplicação, é mais econômico.

4.3 Fôrma mista (madeira x metálico)

Uma das grandes vantagens da fôrma de madeira é a flexibilidade e a possibilidade de fazer o encontro do pilar com a viga, mas o travamento feito em madeira reduz a produtividade e aumenta o risco de abertura da fôrma.

Existe um sistema muito versátil e seguro: a combinação do compensado estruturado (madeira) com o travamento metálico (perfil metálico com barra de ancoragem com porcas).

Além de seguro este sistema de travamento evita a utilização de pregos.

Imagem 1 – Fôrma mista



Fonte: Foto do autor, acervo Max Fôrma Técnicas em Construções.

Imagem 2 – Fôrma mista



Fonte: Fotos do autor, acervo Max Fôrma Técnicas em Construções.

Imagem 3 – Fôrma mista



Fonte: Foto do autor, acervo Max Fôrma Técnicas em Construções.

4.4 Cubetas e chapas (plásticas) de polipropileno

As fôrmas plásticas, cubetas e chapas de polipropileno, são usualmente empregadas em lajes com grandes vãos e podem ser compradas ou alugadas. A decisão entre estas alternativas quase sempre se dá, em função do prazo da estrutura, conforme ilustrado no diagrama abaixo:

Figura 17 Diagrama de orientação para confecção de fôrmas para lajes com cubetas de polipropileno



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Uma das principais aplicações deste tipo de fôrma é para lajes nervuradas, sua vantagem é a economia de concreto em relação a uma laje maciça de mesmo vão.

A economia de madeira para a execução do assoalho da laje pode ser totalmente suprimida, pois as cubetas podem ser colocadas diretamente sobre o cimbramento horizontal que lhe dá suporte, com se pode verificar na figura 20.

Entre engenheiros, esse não é um ponto pacífico, pois alguns entendem que trabalhadores nesta condição estariam mais expostos a acidentes de trabalho.

Figura 18 – Fôrma de polipropileno



Fonte: Astra S/A Indústria e Comércio (2005) apud NAZAR (2007)

O resultado **prático** do concreto é normalmente de excelente qualidade (figura 19) a sua escolha pode ser uma boa solução, como se pode notar nas observações comentadas.

Figura 19 – Aspecto da laje desenformada



Fonte: Astra S/A Indústria e Comércio (2005) apud NAZAR (2007)

No Brasil, as fôrmas plásticas possuem maior uso em lajes nervuradas, embora possam ser usadas em pilares, vigas e lajes maciças. Até o momento, não se estudou nem se demonstrou a sua viabilidade técnica e econômica.

A sua melhor indicação, se for recomendável do ponto de vista financeiro, parecem ser em lajes nervuradas, particularmente em estruturas de bloco de concreto estrutural, nas quais os módulos são formados e desformados com maior facilidade. Podem ser também usadas com bastante eficiência em paredes, em habitações populares como mostra a figura 20.

Figura 20 – Fôrmas plásticas



Fonte: Moladi Form Work (2006) apud NAZAR (2007)

4.5 Papelão

As fôrmas de papelão são normalmente usadas em pilares com seção circular, e menos frequentemente em enchimento de lajes do tipo “caixão perdido”, conforme demonstrado nas figuras 21 e 22 a seguir.

Figura 21 – Fôrmas de papelão para pilares



Fonte: Dimibu Multifomas Concretubo (2005) apud NAZAR (2007)

Figura 22 – Fôrmas de papelão tipo caixão perdido



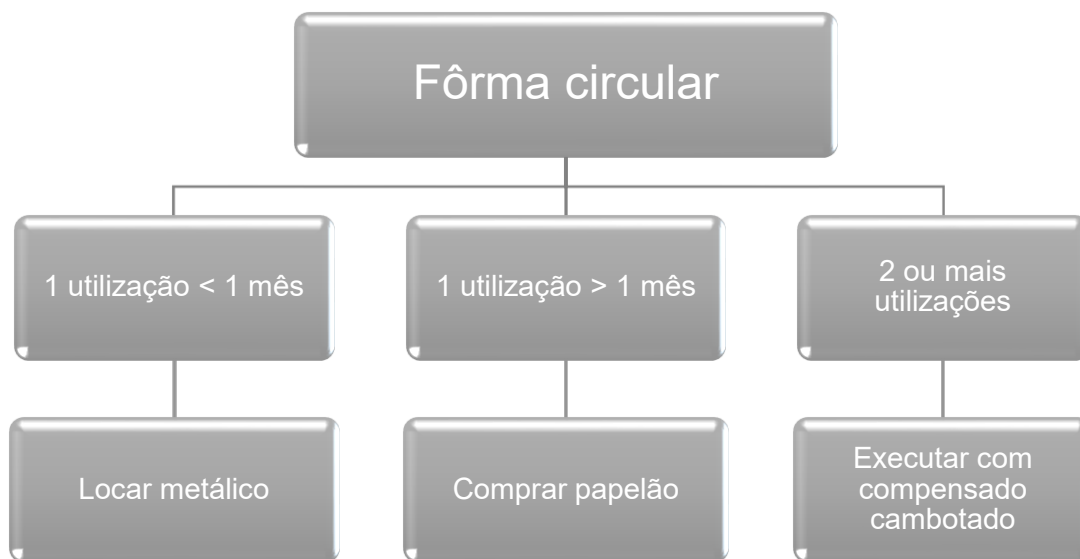
Fonte: Dimibu Multifomas Concretubo (2005) apud NAZAR (2007)

Apesar da sua excelente resistência as pressões internas e do seu aspecto plástico impecável após a desenforma, apresenta alto custo se for preciso aproveitá-la mais de uma vez.

Nesse caso, é preciso fazer uma análise econômica e compará-la a uma fôrma tradicional.

A figura 23 apresenta um diagrama de orientação para decisão de utilização de fôrma de papelão para pilares.

Figura 23 – Diagrama de orientação para confecção de fôrmas cilíndricas para pilares



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

5 CIMBRAMENTO (escoramento)

Cimbramento são estruturas provisórias com capacidade para resistir e transmitir à base de apoio da estrutura do escoramento todas as ações provenientes das cargas permanentes e variáveis resultantes do lançamento do concreto fresco sobre as fôrmas horizontais e verticais, até que o concreto se torne autoportante.

Os cimbramentos podem ser compostos por elementos estruturais provisórios horizontais e verticais.

São utilizados como elementos horizontais os barrotes e os contra-barrotes ou podem ser chamados de transversinas e longarinas.

São utilizadas como elementos verticais as escoras pontuais e ou torres de acordo com a tipologia da laje e da viga.

5.1 Cimbramento de madeira

Podemos utilizar cimbramentos verticais e horizontais totalmente de madeira de acordo com a NBR15696/2009.

Esse sistema é mais utilizado em cidades que estão longe dos grandes centros urbanos, onde o custo logístico para o acesso as empresas que fornecem estes equipamentos industrializados podem onerar ou até mesmo inviabilizar a locação destes materiais.

Também é muito utilizado este sistema em obras de pequeno porte, mesmo nos grandes centros. Contudo, existem empresas que adotam este sistema em empreendimentos de grande porte.

A vantagem deste sistema pode estar inerente ao custo menor do material de forma pontual em relação ao sistema industrializado.

A desvantagem está ligada à sua condição de nivelamento que é precária e o seu escoamento inerente à produção é menor quando comprado ao sistema industrializado.

Figura 24 – Fôrma e escoramento de madeira



Fonte: Manual SH de Fôrmas e Escoramentos (2008)

Figura 25 – Fôrma em madeira para pilar



Fonte: Manual SH de Fôrmas e Escoramentos (2008)

5.2 Cimbramento metálico

O sistema de cimbramento metálico é composto por tubos de aço devidamente projetados para atender a carga pontual dimensionada. Esse sistema permite maior agilidade na montagem e desmontagem, são mais seguros, permitem maior organização e limpeza dos canteiros de obras, minimiza o trabalho de carpintaria e tem um refinamento melhor na qualidade de nivelamento das lajes e vigas.

Podemos reforçar a importância do impacto positivo no ambiente, uma vez que não utiliza madeira nativa.

Imagem 1 - Execução de laje com escoramento LTT SH e perfis metálicos



Fonte: * Edifício Global Tower, ES apud NAZAR (2007)

Imagem 2 - Fôrma para lajes Topec



Fonte: * Edifício Garagem da Infraero * Aeroporto Internacional do RJ apud NAZAR (2007)

5.3 Cimbramento misto (madeira x metálico)

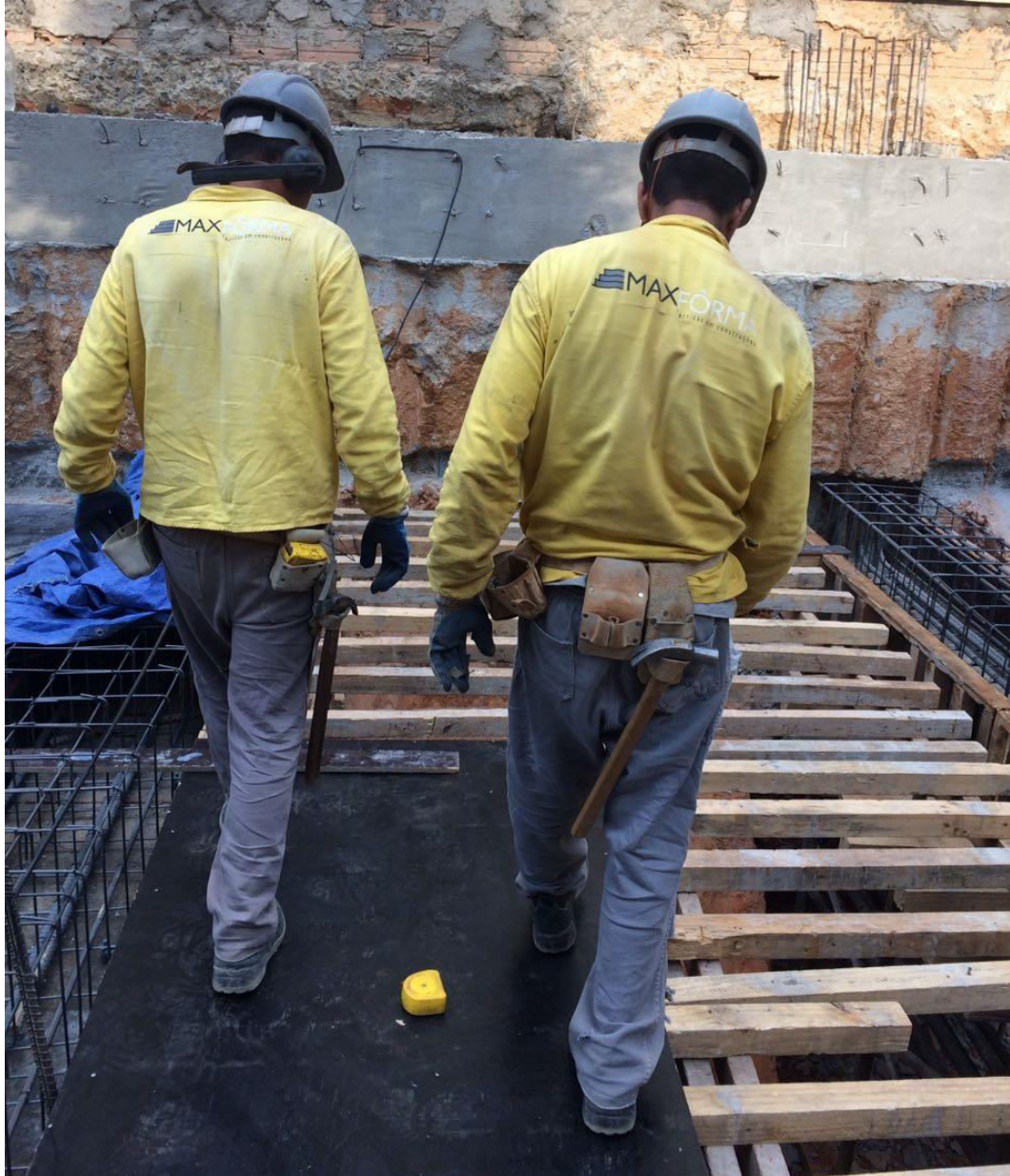
Os cimbramentos poderão ser com torres e ou tubos metálicos, conforme detalhado nos critérios para a escolha do sistema a ser utilizado, como também, reduzir os custos da operação, utilizando os barrotes e contra-barrotes de madeira dependendo do carregamento da laje e ou viga.

Imagem 3- Fôrma para lajes em concreto armado – cimbramento misto



Fonte: Foto do autor, acervo Max Fôrma Técnicas em Construções.

Imagem 4 - Fôrma para lajes em concreto armado – cimbramento misto



Fonte: Foto do autor, acervo Max Fôrma Técnicas em Construções.

6 ANÁLISE ECONÔMICA PARA ESCOLHA DO SISTEMA DE FÔRMAS

Considerando os vários sistemas de fôrmas existentes, para execução de estruturas em concreto armado, alguns fatores devem ser levados em consideração, para a escolha do sistema mais adequado.

O primeiro fator a ser considerado é o prazo de execução da estrutura, um dos fatores mais importantes e de grande influência no custo do material a ser adquirido ou locado para executá-la.

No presente trabalho, foi realizada uma análise segmentada por tipo de peça estrutural – os pilares, as lajes e as vigas – e em cada uma delas uma análise das diversas soluções possíveis e usuais.

Evidentemente, não se teve a pretensão de esgotar o assunto e muito menos apresentar todos os sistemas existentes no mercado, mas de apresentar uma forma de abordar o assunto apresentando ferramentas que possam ajudar a construir uma solução eficiente e economicamente viável.

Nesta etapa do trabalho não foram levadas em conta eventuais diferenças e variabilidade da produtividade advindas de treinamento e adaptação da mão-de-obra a determinado processo.

Antes, pretende-se buscar, vencida a resistência inicial a mudanças, o método que se mostra mais eficiente.

Por experiência própria do autor, a partir da observação em anos de trabalho no setor, foi possível constatar que em todas as etapas de construção de um edifício, há que se vencer a resistência inicial dos profissionais atuantes na obra, a qualquer tipo de inovação. Constata-se, que vencida a barreira de adaptação, é possível, com maior facilidade, alcançar índices de produtividade compatíveis ou até superiores a processos passados.

Ainda, são fatores de extrema relevância, no impacto econômico da obra, a forma de remuneração dos operários, o tipo de liderança e a competência dos mestres de obras e encarregados em aplicar o método escolhido, do que aos sistemas existentes propriamente ditos.

Não raro, estudos comparativos são manipulados, pelo desejo ou preferência dos seus autores em aplicar soluções pessoais, ou por interesses comerciais de fornecedores em colocar os seus equipamentos no mercado.

Por se tratar da construção de um edifício, uma atividade de produção cujo “layout” varia em função de cada terreno e de cada projeto, e executada com mão-de-obra que na maior parte das

vezes iniciou suas atividades e se conheceu a partir do começo daquela construção, e de operários cuja qualificação se deu somente por meio de experiências e não de maneira formal, é temerário falar em produtividade de sistemas de fôrmas, no sentido de comparar processos.

Diante do número de variáveis e de fatores que intervêm nessa análise, conclui-se que o nível de produtividade, que certamente implica em aumento ou diminuição de custo, está mais associado ao hábito na aplicação de processos conhecidos do que ao sistema escolhido, propriamente dito.

6.1 Estudos de pilares

Para esse estudo, foi escolhido um conjunto de edifícios pertencente a uma grande empresa de São de Paulo, onde as mesmas fôrmas deveriam ser utilizadas nos diversos empreendimentos.

Assim, por exemplo, em um empreendimento de 12 prédios, com número de pavimentos variados, procurou-se manter a mesma seção de concreto em todos os pilares, ainda que esses tivessem solicitações diferentes. Para que isso fosse possível, decidiu-se alterar no projeto estrutural a resistência do concreto e as quantidades de aço para manter a mesma seção de concreto nos pilares e, conseqüentemente, a mesma fôrma, visando ao seu melhor aproveitamento.

Do projeto, foi escolhido para o estudo de caso um pilar de 20 x 80 cm por se tratar das medidas que mais se repetem (178 vezes/unidade). Dez hipóteses de estudo foram adotadas para fôrmas de compensado de 18 mm e uma hipótese para fôrma metálica locada, totalizando 11 hipóteses.

As 11 hipóteses do estudo pressupõem que as obras no empreendimento terão uma sequência, ou seja, os materiais do primeiro prédio com as devidas reposições, necessárias ao desenvolvimento, serão utilizados até o último prédio, pois assim e por esse motivo foram concebidos os projetos estruturais, visando à reutilização das fôrmas de maneira sequencial.

Para avaliação do custo dos pilares, nas combinações estudadas foram utilizados os dados constantes da tabela 12.

Tabela 12 – Custo unitário de materiais

| MATERIAL | CUSTO | OBSERVAÇÕES |
|--------------------------------------|-----------------|--------------------|
| Compensado plastificado 18 mm = > 20 | R\$ 78,00/chapa | Aquisição |

| utilizações | (*) | |
|-------------------------------------|-----------------------------|-----------|
| Sarrafos de pínus 0,025 x 0,075 m | R\$ 400,00/m ³ | Aquisição |
| Pontaletes de pínus 0,075 x 0,075 m | R\$ 400,00/m ³ | Aquisição |
| Tensores | R\$ 3,19/unidade | Aquisição |
| Barras de ancoragem | R\$ 15,13 | Aquisição |
| Cone plástico (chupetas) | R\$ 0,03/unidade | Aquisição |
| Tubo PVC ¾ “ | R\$ 1,00/m | Aquisição |
| Painel metálico | R\$ 0,60m ² /dia | Aquisição |
| Perfil][2” com 2,07 kg/m | R\$ 3,50 kg/m | Aquisição |
| Perfil][3” com 2,48 kg/m | R\$ 3,50 kg/m | Aquisição |

(*) área de cada chapa de madeira compensada = 2,9768 m²

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Para facilitar a montagem das tabelas de cálculo para as 11 hipóteses adotadas, os seguintes custos e insumos foram considerados, supondo as fôrmas de madeira compensada de 18 mm, com travamento em sarrafos de pínus ou perfis metálicos, travados com tensores, ou barras de ancoragem. A área de fôrma, supondo o pé-direito de 2,80 m (não sendo descontadas as alturas das lajes e vigas), totaliza em $(0,20 \times 2 + 0,976 \times 2) \times 2,80 = 6,59 \text{ m}^2$.

Custo dos insumos para uma unidade

| | |
|---|------------|
| A1) compensado – $\frac{6,59 \text{ m}^2 \times \text{R\$ } 78,00}{2,9768}$ | R\$ 172,68 |
| A2) Sarrafos 2,70 x 2 x R\$ 400,00 x 0,075 x 0,03 m | R\$ 4,86 |
| A3) Sarrafos 2,70 x 4 x R\$ 400,00 x 0,075 x 0,025 m | R\$ 8,10 |
| A4) Sarrafos 2,70 x 12 x R\$ 400,00 x 0,075 x 0,025 m | R\$ 24,30 |
| A5) Tensores 36 x R\$ 3,19 | R\$ 114,84 |

A6) Barras de ancoragem 12 x R\$ 15,13 R\$ 181,56

A7) Tubos de PVC e espaçadores (70 conjuntos) R\$ 84,24

6.1.1 Combinações consideradas (hipóteses de cálculo)

É possível considerar aproximadamente 20 utilizações por ciclo de fôrma de compensado, e com nove jogos de fôrma obter aproximadamente 180 usos em pilares.

A seguir é mostrado, na tabela 13, o esquema das 11 hipóteses adotadas para avaliação do custo dos pilares.

Tabela 13 – Esquema de montagem e modo de reaproveitamento das fôrmas dos pilares

(continua)

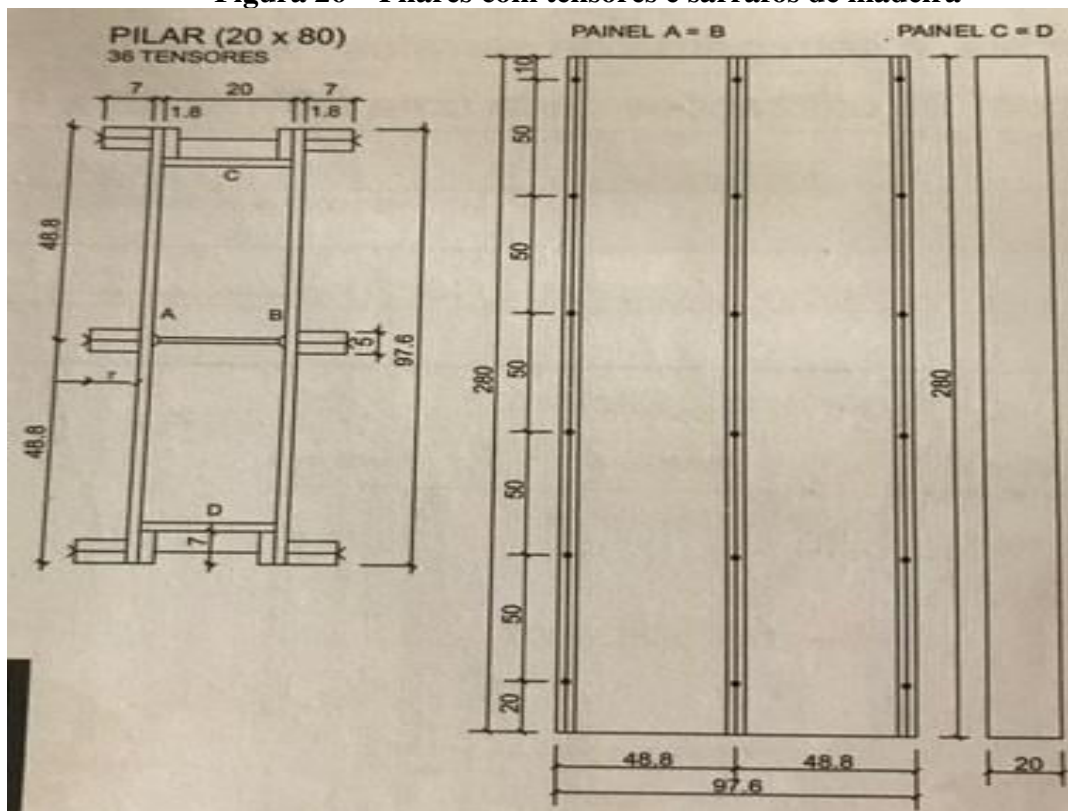
| Hipótese | Compensado | Tensores | Barra de ancoragem | Sarrafos | Espaçadores | Perfil metálico |
|----------|--------------|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| h1 | 9 reposições | 50% de reposição | * | 100% de reposição | 100% de reposição | * |
| h2 | 9 reposições | 50% de reposição | * | Sem reposição | 100% de reposição | * |
| h3 | 9 reposições | Sem reposição | * | Sem reposição | 100% de reposição | * |
| h4 | 9 reposições | * | Sem reposição | 100% de reposição | 100% de reposição | * |
| h5 | 9 reposições | * | Sem reposição | Sem reposição | 100% de reposição | * |
| h6 | 9 reposições | Sem reposição | Sem reposição | Sem reposição | 100% de reposição | * |

| (conclusão) | | | | | | |
|-------------|-----------------------|------------------|--------------------|------------------|-------------------|-----------------|
| Hipótese | Compensado | Tensores | Barra de ancoragem | Sarrafos | Espaçadore | Perfil metálico |
| h7 | 9 reposições | * | Sem reposição | 50% de reposição | 100% de reposição | * |
| h8 | 9 reposições | 50% de reposição | * | Sem reposição | 100% de reposição | Sem reposição |
| h9 | 9 reposições | * | Sem reposição | Sem reposição | 100% de reposição | Sem reposição |
| h10 | 9 reposições | * | Sem reposição | Sem reposição | 100% de reposição | Sem reposição |
| h11 | Fôrma metálica locada | | | | | |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Cada hipótese é analisada separadamente, conforme demonstrado nas tabelas a seguir:

Figura 26 – Pilares com tensores e sarrafos de madeira



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

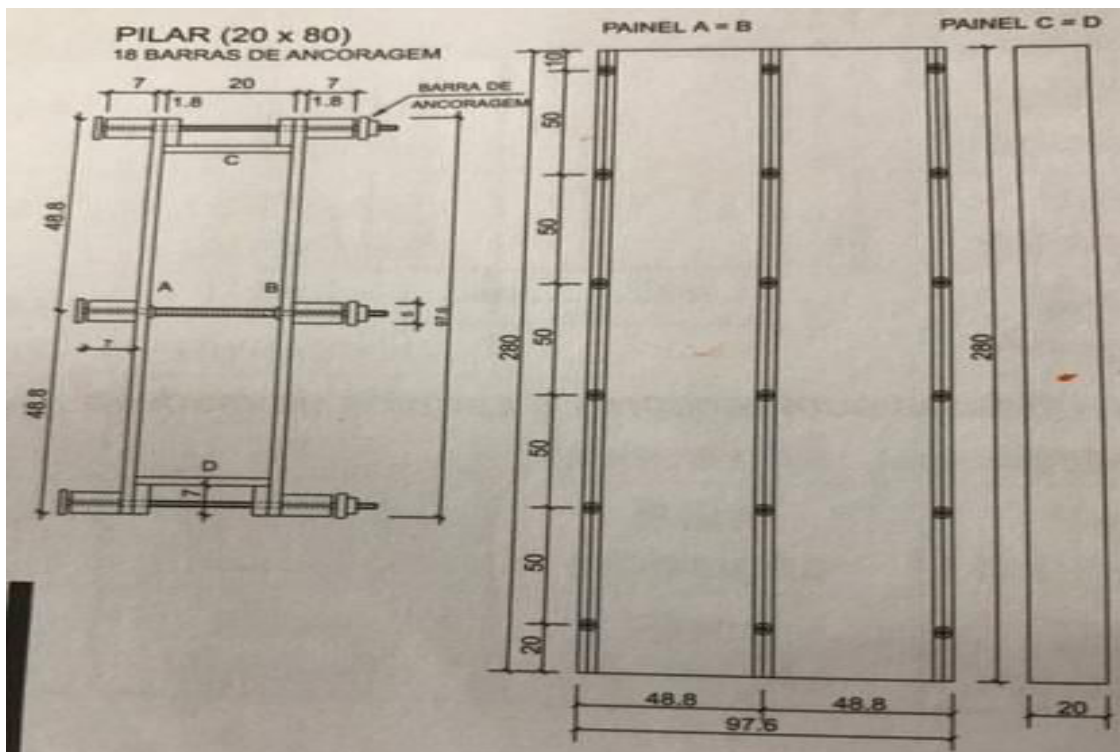
Tabela 14 – Combinações para utilização de tensores nas fôrmas

| | |
|--|---------------------|
| Hipótese h-1 | |
| Utilizando-se tensores, reposição de todo o sarrafeamento e 50% dos tensores a cada 20 utilizações – figura 31 | |
| 9 reposições de compensado com 20 utilizações cada uma $R\$ 172,68 \times 9 =$ R\$ 1.554,12 | |
| 50% reposição de tensores a cada 20 utilizações $(R\$ 114,81 \times 9)/2 =$ R\$ 516,78 | |
| 100% reposição de sarrafos a cada 20 utilizações $R\$ 32,40 \times 9 =$ R\$ 291,60 | |
| Espaçadores plásticos R\$ 84,24 | |
| TOTAL | R\$ 2.446,74 |
| Hipótese h-2 | |
| Utilizando-se tensores, com perdas de 50% e sem perdas de sarrafos – figura 31 | |
| 9 reposições de compensado com 20 utilizações cada uma $R\$ 172,68 \times 9 =$ R\$ 1.554,12 | |
| 50% reposição de tensores a cada 20 utilizações $(R\$ 114,81 \times 9)/2 =$ R\$ 516,78 | |
| Sarrafos sem reposição R\$ 32,40 | |
| Espaçadores plásticos R\$ 84,24 | |
| TOTAL | R\$ 2.187,54 |
| Hipótese h-3 | |
| Utilizando-se tensores, sem perdas, e sem perdas de sarrafos – figura 31 | |
| 9 reposições de compensado com 20 utilizações cada uma $R\$ 172,68 \times 9 =$ R\$ 1.554,12 | |
| Tensores R\$ 114,84 | |

| | |
|-----------------------|---------------------|
| Sarrafos | |
| R\$ 32,40 | |
| Espaçadores plásticos | |
| R\$ 84,24 | |
| TOTAL | R\$ 1.785,60 |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Figura 27 – Pilares com barras de ancoragem e sarrafos de madeira



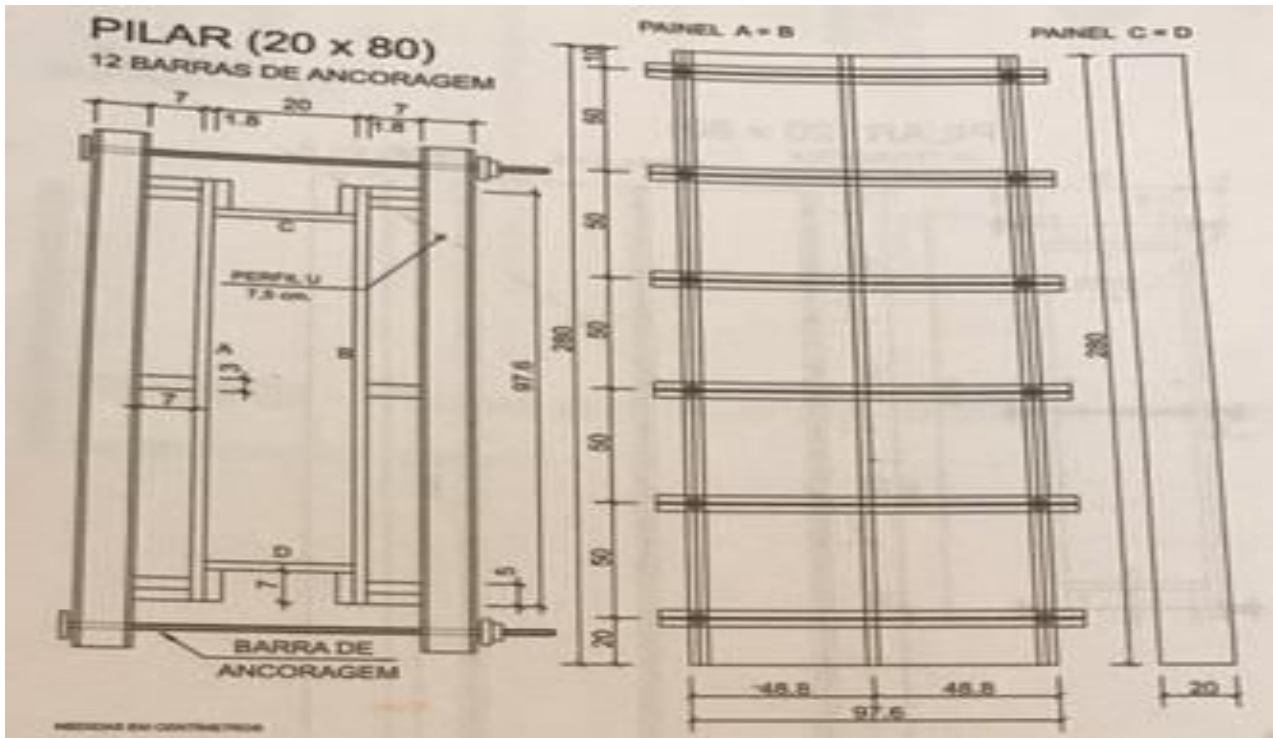
Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Tabela 15 – Combinações para utilização de barras de ancoragem nas fôrmas

| Hipótese h-4 | |
|--|---------------------|
| Utilizando-se barras de ancoragem sem reposição, e com 100% de reposição de sarrafos – figura 34 | |
| 9 reposições de compensado com 20 utilizações cada uma R\$ 172,68 x 9 = R\$ 1.554,12 | |
| 100% reposição de sarrafos a cada 20 utilizações R\$ 32,40 x 9 = R\$ 291,60 | |
| Barras de ancoragem 18 x 15,13 = R\$ 272,34 | |
| Espaçadores R\$ 84,24 | |
| TOTAL | R\$ 2.202,30 |
| Hipótese h-5 | |
| Utilizando-se barras de ancoragem sem reposições e perda zero de sarrafos – figura 34 | |
| 9 reposições de compensado com 20 utilizações cada uma R\$ 172,68 x 9 = R\$ 1.554,12 | |
| Barras de ancoragem 18 x 15,13 = R\$ 272,34 R\$ 272,34 | |
| Espaçadores plásticos R\$ 84,24 | |
| Sarrafos sem reposição R\$ 32,40 | |
| TOTAL | R\$ 1.943,10 |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Figura 28 – Pilares com barras de ancoragem e sarrafos de madeira e suporte metálicos



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

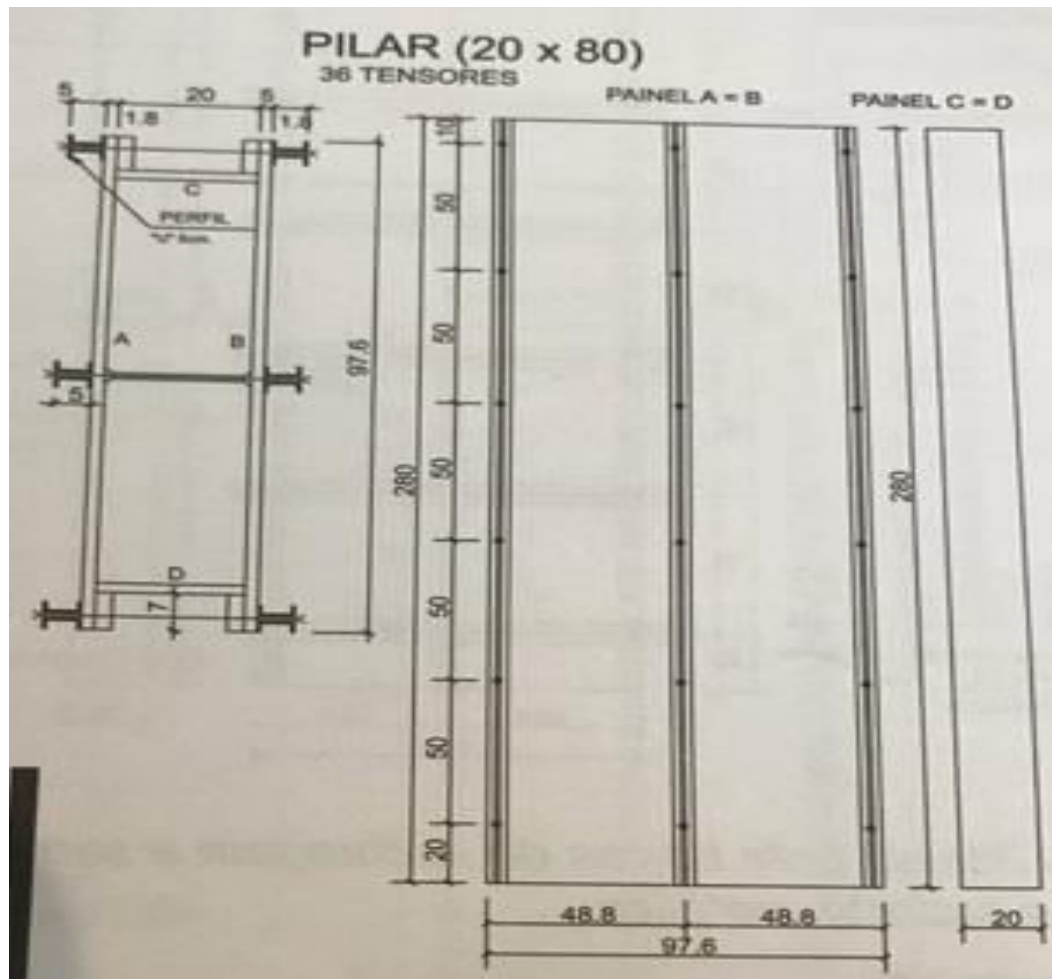
Tabela 16 – Combinações para utilização de sarrafos e suportes metálicos nas fôrmas

| Hipótese h-6 |
|---|
| Fôrma com compensado e sarrafos verticais e suportes metálicos horizontais sem perdas de sarrafos – figura 35 |
| 9 reposições de compensado com 20 utilizações cada uma R\$ 172,68 x 9 = R\$ 1.554,12 |
| 2,70 x 12 x R\$ 400,00 x 0,025 x 0,075 = 24,30 (sarrafos) R\$ 24,30 |
| 2,70 x 2 x R\$ 400,00 x 0,030 x 0,075 = 4,86 (sarrafos) R\$ 4,86 |
| 6 un. 2 x 2,48 kg x 1,50 m x R\$ 3,50/kg = R\$ 156,24 (metálico) R\$ 156,24 |
| R\$ 15,13 x 12 um. = R\$ 181,56 (barras de ancoragem) R\$ 181,56 |

| | |
|---|---------------------|
| TOTAL | R\$ 1.921,08 |
| Hipótese h-7 | |
| Fôrma com compensado e sarrafos verticais e suportes metálicos horizontais com 50% perdas de sarrafos – figura 35 | |
| 9 reposições de compensado com 20 utilizações cada uma R\$ 172,68 x 9 = R\$ 1.554,12 | |
| 2,70 x 12 x R\$ 400,00 x 0,025 x 0,075 = 24,30 x 9/2 (sarrafos) R\$ 109,35 | |
| 2,70 x 2 x R\$ 400,00 x 0,030 x 0,075 = 4,86 x 9/2 (sarrafos) R\$ 21,87 | |
| 6 un. 2 x 2,48 kg x 1,50 m x R\$ 3,50/kg = R\$ 156,24 (metálico) R\$ 156,24 | |
| R\$ 15,13 x 12 um. = R\$ 181,56 (barras de ancoragem) R\$ 181,56 | |
| TOTAL | R\$ 2.023,14 |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Figura 29 – Pilares com suportes metálicos verticais e tensores



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

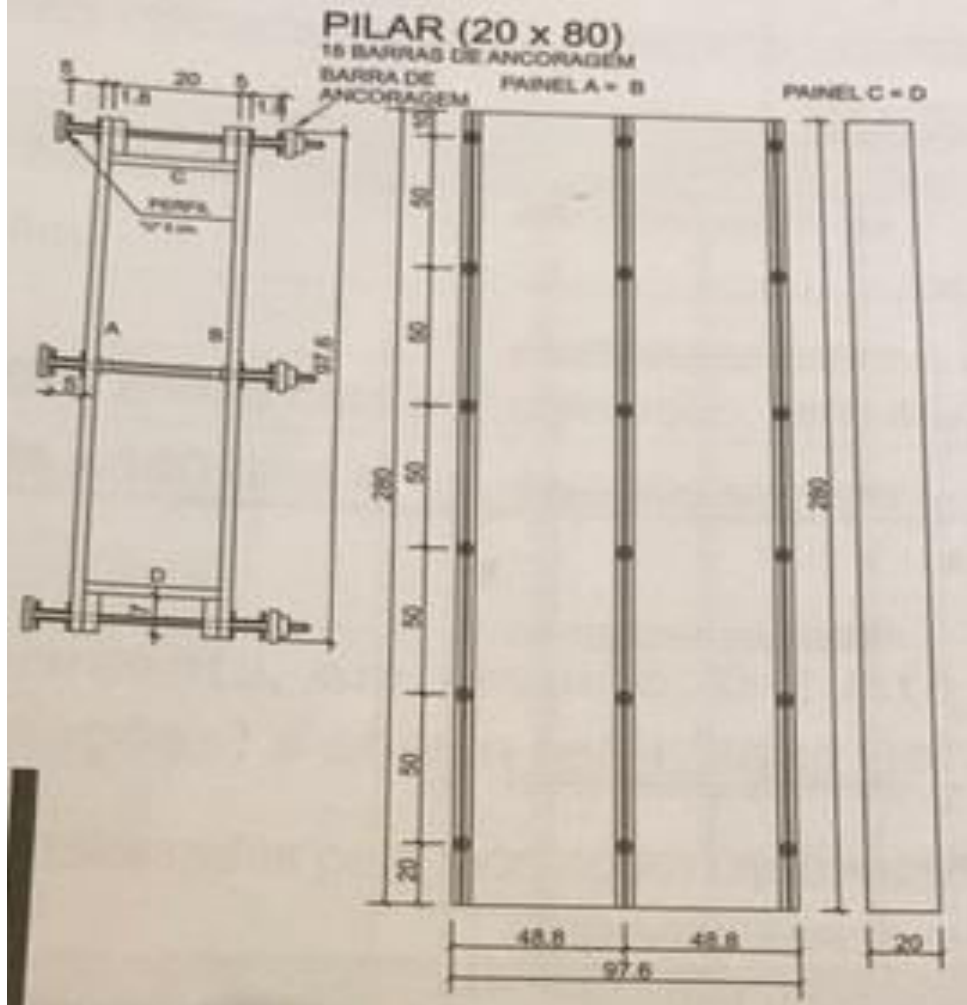
Tabela 17 – Combinação para utilização de suporte metálico vertical e tensores nas fôrmas

| Hipótese h-8 |
|---|
| Fôrma com suporte metálico vertical, espaçadores e tensores com 50% de reposição e compensados para 20 utilizações com 9 reposições – figura 36 |
| 9 reposições de compensado com 20 utilizações cada uma R\$ 172,68 x 9 = R\$ 1.554,12 |
| 2,70 m x 2,07 kg/m x 12 un. x R\$ 3,50/kg R\$ 234,74 |

| | |
|---|---------------------|
| R\$ (114,84 x 9)/2 = | |
| R\$ 516,78 | |
| Espaçadores + sarrafos (4 x 2,70 x 0,025 x 0,075 x R\$ 400,00 = R\$ 8,10) | |
| R\$ 92,34 | |
| TOTAL | R\$ 2.397,98 |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Figura 30 – Pilares com suportes metálicos verticais e barras de ancoragem



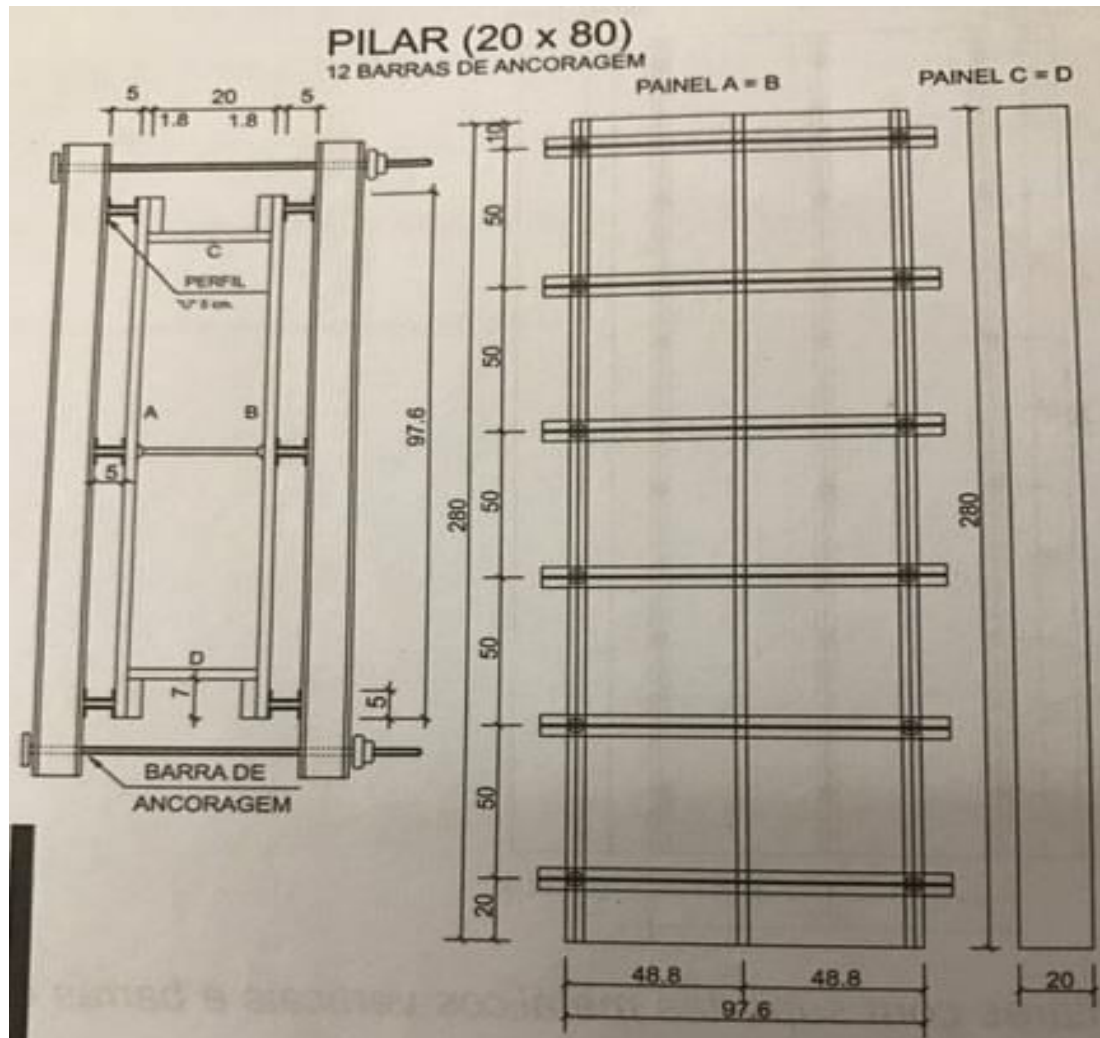
Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Tabela 18 – Combinação para utilização de suporte metálico vertical e barras de ancoragem nas fôrmas

| | |
|---|---------------------|
| Hipótese h-9 | |
| Fôrma com suporte metálico vertical, espaçadores e barras de ancoragem e compensados para 20 utilizações com 9 reposições – figura 37 | |
| 9 reposições de compensado com 20 utilizações cada uma R\$ 172,68 x 9 = R\$ 1.554,12 | |
| 2,70 m x 2,07 kg/m x 12 un. x R\$ 3,50/kg R\$ 234,74 | |
| 15,13 x 0,5 x 18 = 136,17 (barras de ancoragem) R\$ 136,17 | |
| Espaçadores + sarrafos (4 x 2,70 x 0,025 x 0,075 x R\$ 400,00 = R\$ 8,10) R\$ 92,34 | |
| TOTAL | R\$ 2.017,37 |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Figura 36 – Pilares com suportes metálicos verticais, horizontais e barras de ancoragem



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Tabela 19 – Combinação para utilização de suportes metálicos verticais e horizontais nas fôrmas

| |
|--|
| Hipótese h-10 |
| Fôrma de compensado com suporte metálico vertical e horizontal, compensados com 9 reposições e 20 utilizações cada – figura 38 |
| 9 reposições de compensado com 20 utilizações cada uma R\$ 172,68 x 9 = R\$ 1.554,12 |
| 2,70 m x 2,07 kg/m x 12 un. x R\$ 3,50/kg = (perfis verticais) R\$ 234,74 |

| |
|--|
| 2,48 kg/m x 1,5 m x 6 x 2 x R\$ 3,50/kg = (perfis horizontais) R\$ 156,24 |
| 15,13 x 0,5 x 18 = 136,17 (barras de ancoragem) R\$ 136,17 |
| Espaçadores + sarrafos (4 x 2,70 x 0,025 x 0,075 x R\$ 400,00 = R\$ 8,10) R\$ 92,34 |
| TOTAL R\$ 2.173,61 |

Fonte: Elaborada por NAZAR, NILTON (2007)

Tabela 20 – Combinação para utilização de painéis metálicos locados nas fôrmas

| |
|--|
| Hipótese h-11 |
| Locação de painel metálico |
| Custo do m ² /dia = R\$ 0,60 |
| Supondo-se 180 utilizações com 6 dias por utilização, tem-se: |
| 6,59 m ² x R\$ 0,60/m ² / dia x 180 dias = R\$ 4.270,32 |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

A tabela 21 apresenta, em resumo, o custo para cada hipótese das várias possibilidades (combinações) a serem realizadas para as fôrmas dos pilares.

Tabela 21 – Combinações consideradas para montagem de fôrmas de pilares, com vários critérios de projetos

(continua)

| Hipóteses | Compensado | Sarrafos | Tensores | Barras de ancoragem | Espaçadores plásticos | Perfil metálico | Projeto | Custo |
|-----------|------------|----------|----------|---------------------|-----------------------|-----------------|---------|----------|
| h-1 | 1.554,12 | 261,60 | 516,78 | | 84,24 | | Fig. 30 | 2.446,74 |
| h-2 | 1.554,12 | 32,40 | 516,78 | | 84,24 | | Fig. 30 | 2.187,54 |
| h-3 | 1.554,12 | 32,40 | 114,84 | | 84,24 | | Fig. 30 | 1.785,60 |
| h-4 | 1.554,12 | 261,60 | | 272,34 | 84,24 | | Fig. 31 | 2.202,30 |
| h-5 | 1.554,12 | 32,40 | | 272,34 | 84,24 | | Fig. 31 | 1.943,10 |

(conclusão)

| Hipóteses | Compensado | Sarrafos | Tensores | Barras de ancoragem | Espaçadores plásticos | Perfil metálico | Projeto | Custo |
|-----------|------------|----------|----------|---------------------|-----------------------|-----------------|---------|----------|
| h-6 | 1.554,12 | 29,16 | | 181,56 | | 156,20 | Fig. 32 | 1.921,08 |
| h-7 | 1.554,12 | 131,22 | | 181,56 | | 156,20 | Fig. 32 | 2.023,14 |
| h-8 | 1.554,12 | 8,10 | 516,78 | | 84,24 | 234,74 | Fig. 33 | 2.397,98 |
| h-9 | 1.554,12 | 8,10 | | 136,17 | 84,24 | 234,74 | Fig. 34 | 2.017,37 |
| h-10 | 1.554,12 | 8,10 | | 136,17 | 84,24 | 390,98 | Fig. 35 | 2.173,61 |
| h-11 | 4.270,32 | | | | | | | 4.270,32 |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

6.2 Estudo das fôrmas e cimbramentos para lajes

Lajes e vigas, pela continuidade estrutural e interação dos elementos construtivos, são normalmente concretadas conjuntamente.

Para as lajes, será feito um estudo comparativo, com três possibilidades de processos existentes e usuais no mercado de fôrmas do mercado de Belo Horizonte/MG.

Para a hipótese da utilização do cimbramento principal metálico em todas as opções, para se obter um ajuste telescópico de nível das mesmas;

Para o caso de barroteamento secundário (transversinas), este pode ser executado com as opções de sarrafos galgados na obra, ou metálicos, comprados ou alugados, e;

Análise de utilização de painéis metálicos locados para compará-los com os demais.

No projeto, foi feita a análise de custo para a execução das 180 lajes do empreendimento, resultado em quatro hipóteses, considerando: cimbramento principal comprado ou locado, transversinas de madeira com três ou quatro reposições, ou metálicas compradas ou locadas, e fôrmas de compensado com 20 e 40 utilizações. A tabela 22 resume as quatro hipóteses adotadas.

Tabela 22 – Esquema de montagem e modo de reaproveitamento das fôrmas das lajes

| Hipótese | Cimbramento Principal | Transversinas | Fôrmas (compensados) |
|----------|-----------------------|---------------|---------------------------------|
| h-1 | | | |
| h-2 | Comprado | 4 reposições | 9 reposições (20 utilizações) |
| h-3 | Comprado | 3 reposições | 4,5 reposições (40 utilizações) |
| h-3 | Locado | 3 reposições | 4,5 reposições (40 utilizações) |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

6.2.1 Cimbramento principal

Nas tabelas 23 e 24 são apresentados os pesos e as quantidades de materiais para o cimbramento de lajes de concreto.

Tabela 23 – Cimbramento principal metálico para laje exemplificada (Anexos A, B e C)

| Cimbramento metálico | | |
|-----------------------------|---|------------------|
| a) | 12 quadros de 1,00 x 1,000 com 11,22 kg. | 134,64 kg |
| b) | 12 quadros de 1,00 m pesando 3,97 kg/unidade | 47,52 kg |
| c) | 12 sapatas ajustáveis 3,37 kg/unidade | 40,44 kg |
| d) | 12 suportes ajustáveis (forçados) 5,97 kg/unidade | 71,64 kg |
| e) | Perfis principais 40 m x 15,20 kg/m | 608 kg |
| f) | Escoras metálicas 20 kg/unidade | 280 kg |
| TOTAL | | 1.182, KG |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Tabela 24 – Peso dos insumos

| Tabela de materiais | | |
|----------------------------|-----------------------|----------|
| a) | DX 1,00 m. | 3,97 kg |
| b) | TS4 | 11,22 kg |
| c) | Sapatas ajustáveis | 3,34 kg |
| d) | Suportes ajustáveis | 5,97 kg |
| e) | Perfil U 150 mm duplo | 15,20 kg |
| f) | Perfil U 75 mm duplo | 7,70 kg |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

A hipótese adotada para o cimbramento principal metálico, que será utilizado nas duas sugestões, ou seja, com barrotes (transversinas) metálicos ou com barrotes de madeira executados na obra.

Neste caso, foi prevista a utilização de três torres metálicas e 14 escoras também metálicas, 40 metros de perfis duplo U, com $h = 15$ mm e peso 15,20 kg/m.

Torres – Composição

| | |
|---|------------------|
| - 12 quadros de 1,00 m x 1,00 m, pesando 11,22 kg | 134,64 kg |
| - 12 Dx 1,0, pesando 3,97 kg/unidade | 47,52 kg |
| - 12 sapatas, pesando 3,37 kg/unidade | 40,44 kg |
| - 12 forcados duplos, pesando 5,97 kg/unidade | 71,64 kg |
| - Total | 294,24 kg |

Perfis principais – composição – 40 m x 15,20 kg/m

Escoras metálicas

| | |
|------------------------------|-------|
| - 14 escoras, com 20 kg cada | 80 kg |
|------------------------------|-------|

Total do peso do cimbramento principal **1.182,24 kg**

- Opção de compra

- 1.182,24 kg x R\$ 3,50/kg R\$ 4.137,84

- Opção de locação

- 1.182,24 kg x R\$ 0,17/kg/mês R\$ 200,98/mês

Análise comparativa – Cimbramento principal (compras x locação)

- Compra de equipamento metálico R\$ 4.137,84

- Preço de locação: = $\frac{180 \text{ (utilizações)} \times 6 \text{ (dias)} \times \text{R\$ } 200,98}{30 \text{ (dias)}}$

- Análise financeira da locação

- Considerando os parâmetros da locação, calcula-se o valor presente adotando:

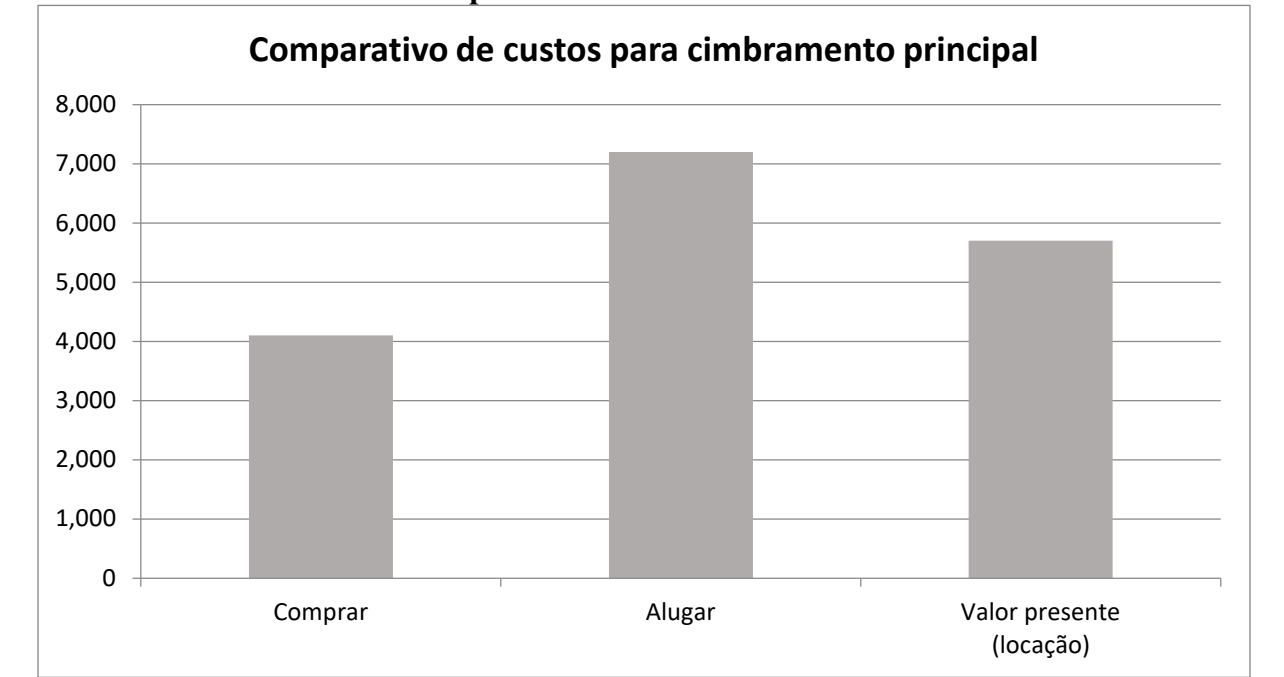
Taxa de atratividade

Número de meses

Prestação mensal

Obtém-se, dessa forma, o valor presente equivalente, PVA = R\$ 5.559,24, considerando o valor da locação mensal como um descaixe de capital. A figura 36 ilustra a diferença entre alugar e comprar e comprar as fôrmas.

Figura 32 – Cimbramento principal: compra x locação mensal de equipamento metálico para um ciclo de 180 usos



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

6.2.2 Transversinas (Anexos A, B, C, D, E e F)

Para avaliação dos custos das transversinas, três hipóteses foram consideradas, conforme indicado a seguir:

H1 – Utilização de transversinas de sarrafos de pínus (Anexos C, D e F)

$(0,025 \times 0,14 \times 2) \times 2,62 \text{ m} \times 34 \text{ unidades} \times \text{R\$ } 450,00/\text{m}^3 = \text{R\$ } 280,60/\text{laje}$

Para três reposições $3 \times \text{R\$ } 280,60/\text{laje} = \text{R\$ } 841,80/\text{laje}$

H2 – Utilização de transversinas metálicas duplo U de 75 mm, comprados (Anexos B e E)

- Opção compra metálico

$2,62 \text{ m} \times 34 \text{ unidades} \times 7,7 \text{ kg/m} \times \text{R\$ } 3,50/\text{kg} =$

R\$ 2.400,71

H3 – Utilização de transversinas metálicas duplo U de 75 mm, locadas (Anexos B e E)

- Opção compra metálico

$$2,62 \text{ m} \times 34 \text{ unidades} \times 7,7 \text{ kg/m} \times \text{R\$ } 0,17/\text{kg/mês} = \text{R\$ } 116,61/\text{mês}$$

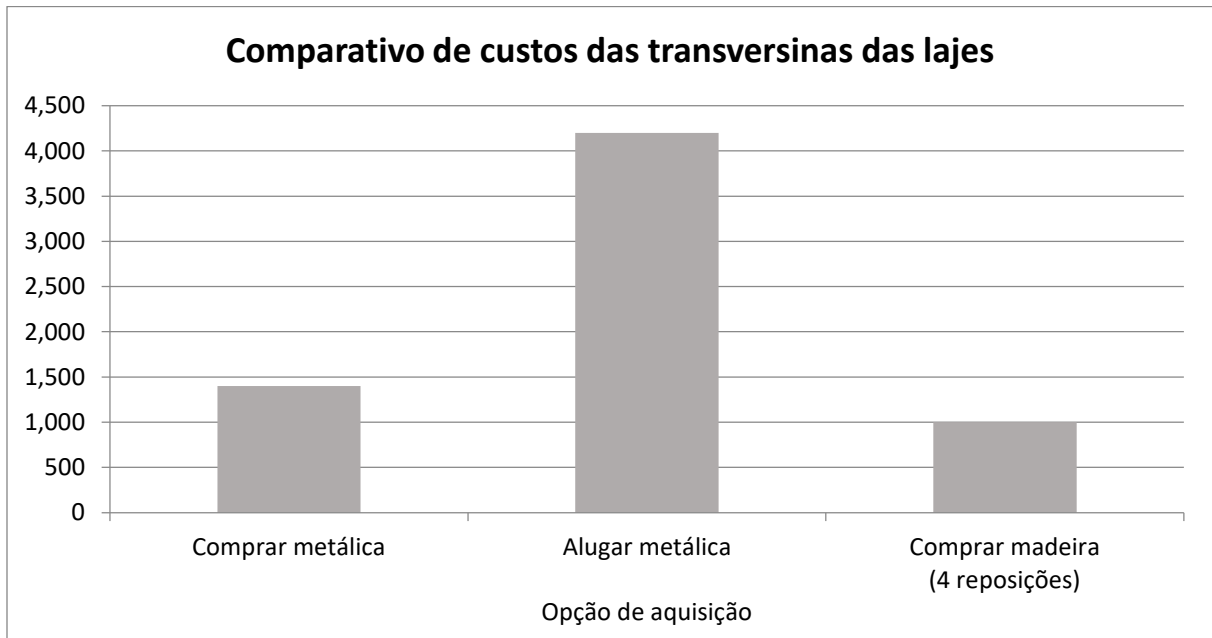
Análise comparativa de custo entre as opções de transversina

Supondo-se a utilização de um jogo de transversinas por seis dias por laje, tem-se:

- a) Locação metálico $\frac{180 \times 6 \times \text{R\$ } 116,61}{30}$ R\$ 4.197,96
- b) Compra metálico R\$ 2.400,71
- c) Compra de madeira (madeira sem reposição) R\$ 280,60
- d) Compra de madeira (madeira com 01 reposições) $04 \times \text{R\$ } 280,60 = \text{R\$ } 1.122,40$

A figura 33 ilustra a diferença de custos entre alugar e comprar fôrmas.

Figura 33 – Transversinas das lajes, locação mensal x comprar metálico x comprar madeira para um ciclo de 180 usos (quatro reposições)



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Considerando os prazos de execução das lajes e sua espessura, pode-se avaliar a melhor forma de aquisição, por meio do diagrama da figura 34.

Figura 34 – Diagrama de orientação para confecção de transversinas de lajes



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

6.2.3 Análise comparativa do custo de fôrmas para lajes

I) Painéis metálicos locados, acompanhados de cimbramento

| | |
|--|---------------|
| - Área 53,74m ² x R\$ 17,00/m ² /mês = | R\$ 913,58 |
| - R\$ 913,58 x 36 meses = | R\$ 32.888,89 |

II) Se for utilizado o cimbramento principal comprado e transversinas de madeira 0,025 m x 0,14 m e compensado plastificado para 20 utilizações com 9 reposições, ao custo de R\$ 78,00 por chapa:

| | |
|---|---------------|
| - Cimbramento principal comprado | R\$ 4.137,84 |
| - Chapas de compensado = (53,74 x R\$ 78,00 x 9)/2,9768 | R\$ 12.673,17 |
| - Total | R\$ 17.942,41 |

III) Se for utilizado o cimbramento principal comprado e transversinas de madeira 0,025 m x 0,14 m e compensado plastificado para 40 utilizações com 4,5 reposições, ao custo de R\$ 114,00/chapa:

| | |
|----------------------------------|---------------|
| - Cimbramento principal comprado | R\$ 4.137,84 |
| - Transversinas 3 x reposições | R\$ 841,60 |
| - Chapas de compensado | R\$ 9.261,16 |
| - Total | R\$ 14.240,60 |

IV) Se for utilizada a opção locação do cimbramento em 36 meses e compensado com 40 utilizações, tem-se:

| | |
|---|---------------|
| - Locação do cimbramento principal por 36 meses | R\$ 7.235,28 |
| - Transversinas 3 x reposições | R\$ 841,60 |
| - Chapas de compensado | R\$ 9.261,16 |
| - Total | R\$ 17.338,04 |

A tabela 25 apresenta o resumo dos custos para as várias opções fôrmas para lajes.

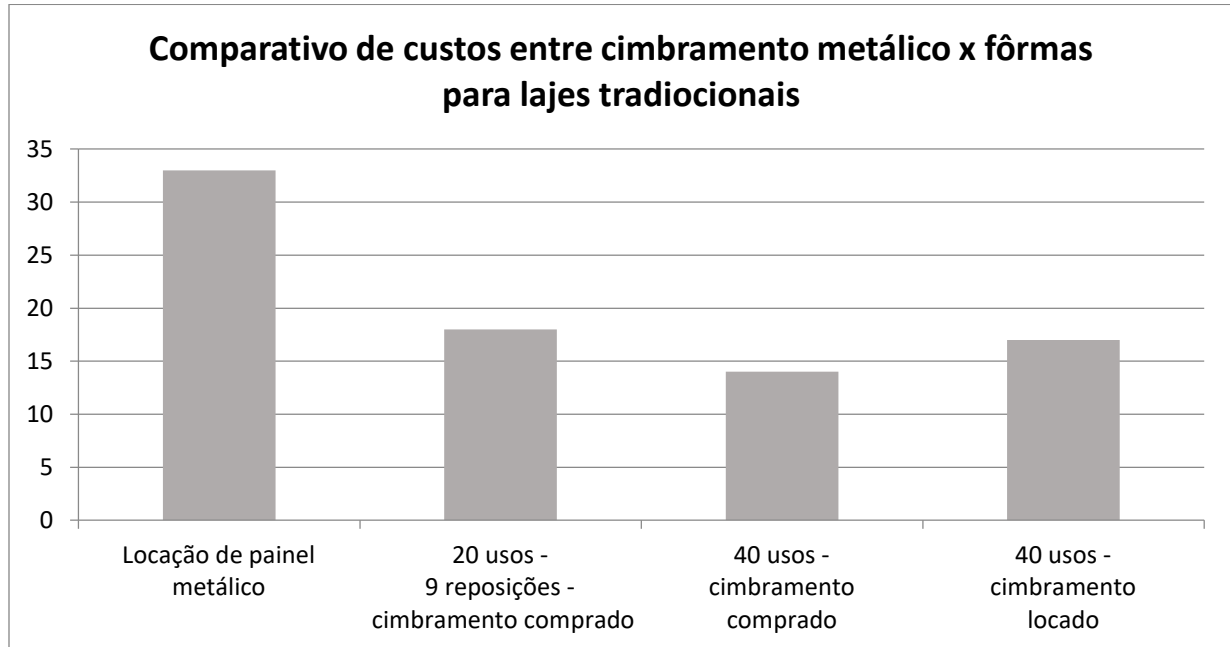
Tabela 25 – Comparativa final das diversas opções fôrmas para lajes

| | | |
|--|-------------------------|---------------|
| I) Painéis metálicos com cimbramentos | Locação completa | R\$ 32.888,89 |
| II) Tradicional compensado 20 utilizações | Compra de cimbramentos | R\$ 17.942,41 |
| III) Tradicional compensado 40 utilizações | Compra de cimbramentos | R\$ 14.240,60 |
| IV) Tradicional compensado 40 utilizações | Locação do cimbramentos | R\$ 17.338,04 |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Pode-se verificar, portanto, conforme mostra o gráfico abaixo, o fator prazo é que definitivamente deverá ser o elemento influenciador na decisão de comprar ou alugar, a fim de se obter a solução mais adequada para cada problema de fôrmas, conforme mostra a figura 35.

Figura 35 – Comparação do custo de fôrmas para lajes, com painel e cimbramento locado/mês para um ciclo de 180 usos x fôrmas para lajes com compensados e cimbramentos tradicionais



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

6.3 Estudo dos escoramentos de fôrmas para vigas (Anexos G, H e I)

Para o escoramento das vigas foi feita uma análise comparativa de custo com utilização de torres metálicas, para 180 utilizações, com vigas principais e secundárias também metálicas, Anexo G e I, e um estudo com garfos de madeira confeccionados na obra com pínus reflorestado, conforme desenho indicado no Anexo H.

- **Opção de compra de equipamento metálico (cimbramento), Anexo I**

R\$ 3,50/kg x 679,20 kg **R\$ 2.377,20**

- **Opção de locação de equipamento metálico (ver equação 3), Anexo I**

- 180 x 6 x R\$ 115,46 **R\$ 4.156,56**

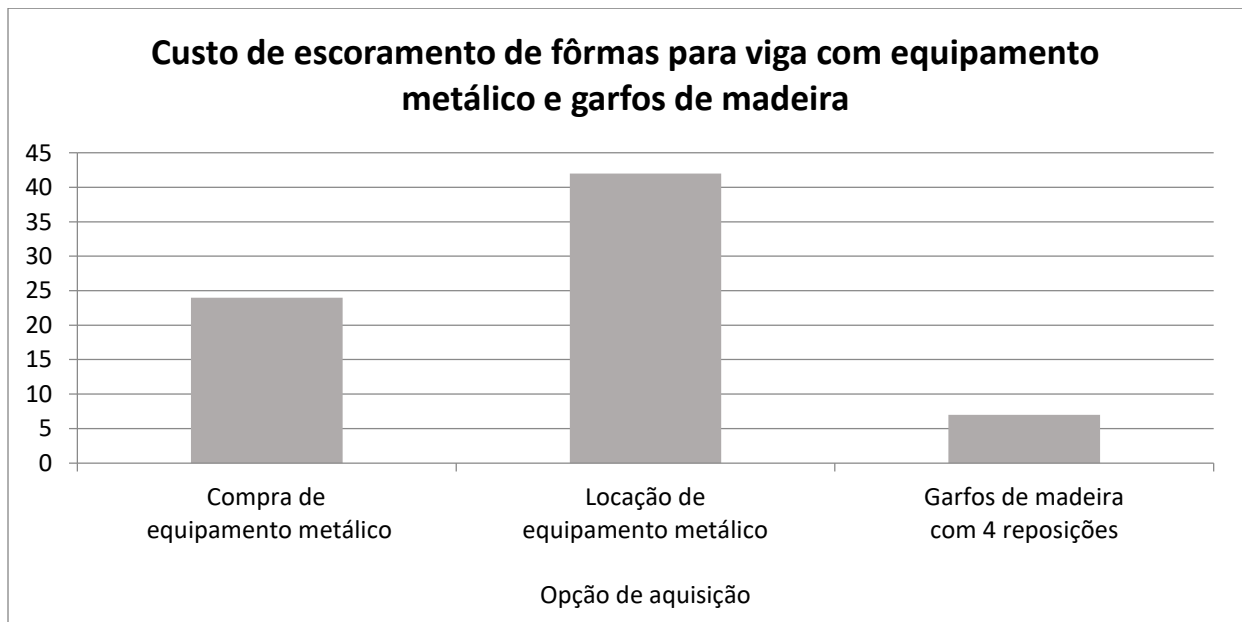
30

- **Garfos de madeira, Anexo H** **R\$ 156,94**

- **Com 4 reposições = > 4 x R\$ 156,94, Anexo H** **R\$ 627,76**

A figura 36 mostra a comparação entre as opções de painéis para escoramento de fôrmas para vigas.

Figura 36 – Escoramento de fôrmas para vigas para um ciclo de 180 dias usos, com equipamento metálico e garfos de madeira



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Como é possível notar, em obras cujo prazo é maior do que dois meses, dificilmente a locação de equipamento metálico se mostra viável, tanto com relação às vigas com a utilização de “garfos” de madeira, quanto em relação às transversinas das lajes, cujo diferencial de custo também mostrou bastante favorável a utilização das peças de madeira, cujo dimensionamento, como será demonstrado mais adiante, é bastante simples, assim, como a sua fabricação. Com o cimbramento principal das lajes, não se efetuou a opção em madeira pelo fato do seu ajuste, nesse caso, ser pouco adequado.

O número de reposição de garfos e transversinas de madeira são bastante discutíveis e depende do nível de treinamento da mão-de-obra, da qualidade da madeira e do rigor da fiscalização de quem está executando. O mesmo raciocínio se aplica aos compensados e até ao

equipamento metálico. O objetivo aqui é demonstrar a forma de abordar o assunto em função das várias opções existentes no mercado. Quanto ao número de reposições, poderá ser avaliado por cada profissional.

Com relação aos compensados utilizados, pode-se dimensioná-los conforme cálculo estático específico e em função do número de repetições na obra.

O diagrama da figura 37 indica o caminho a seguir para a tomada de decisão entre as opções possíveis.

Figura 37 – Diagrama de orientação para confecção de cimbramento de fôrmas para vigas

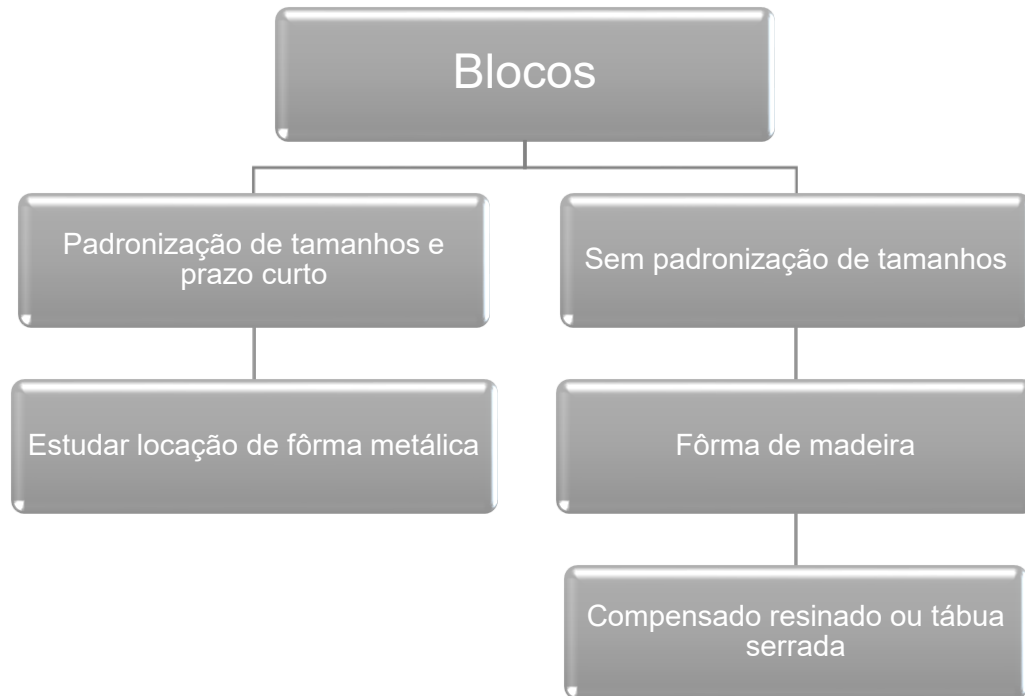


Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

6.4 Escolha de fôrmas para estruturas especiais

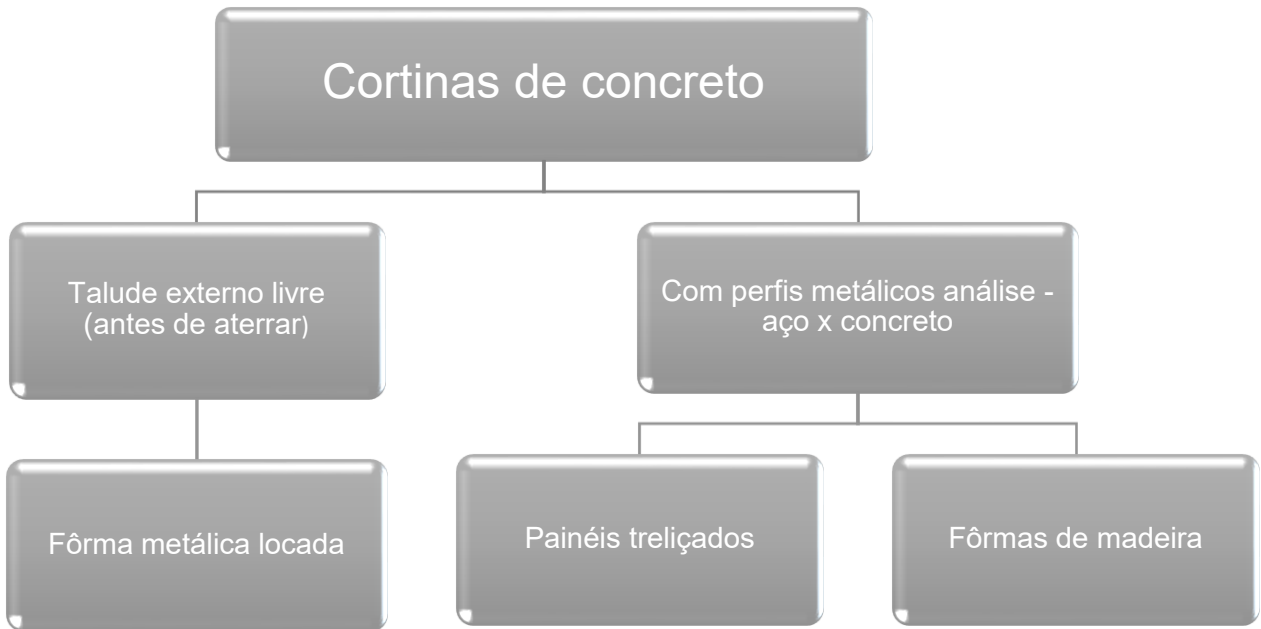
Em estruturas especiais, como caixas-d'água, blocos de fundação, cortinas em taludes ou de contenção e vigas baldrames, lajes com grandes vãos, os diagramas indicados na figura 38 a 42, a seguir, servem de orientação para decidir sobre o tipo de fôrma, conhecendo-se as particularidades do projeto.

Figura 38 – Diagrama de orientação para confecção de fôrmas para blocos de fundação



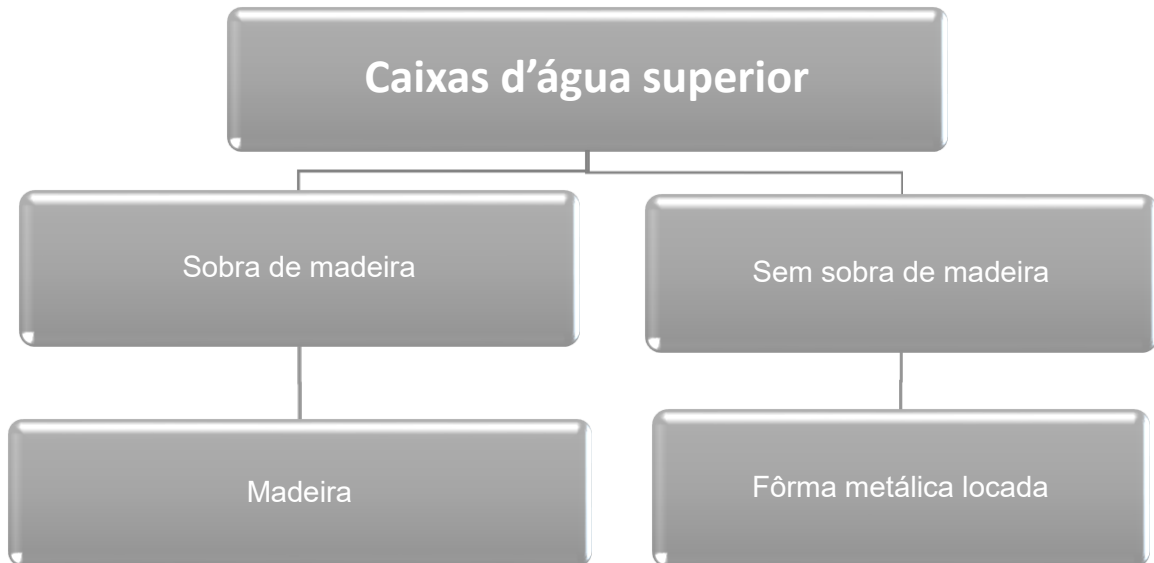
Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Figura 39– Diagrama de orientação para confecção de fôrmas para cortinas de concreto



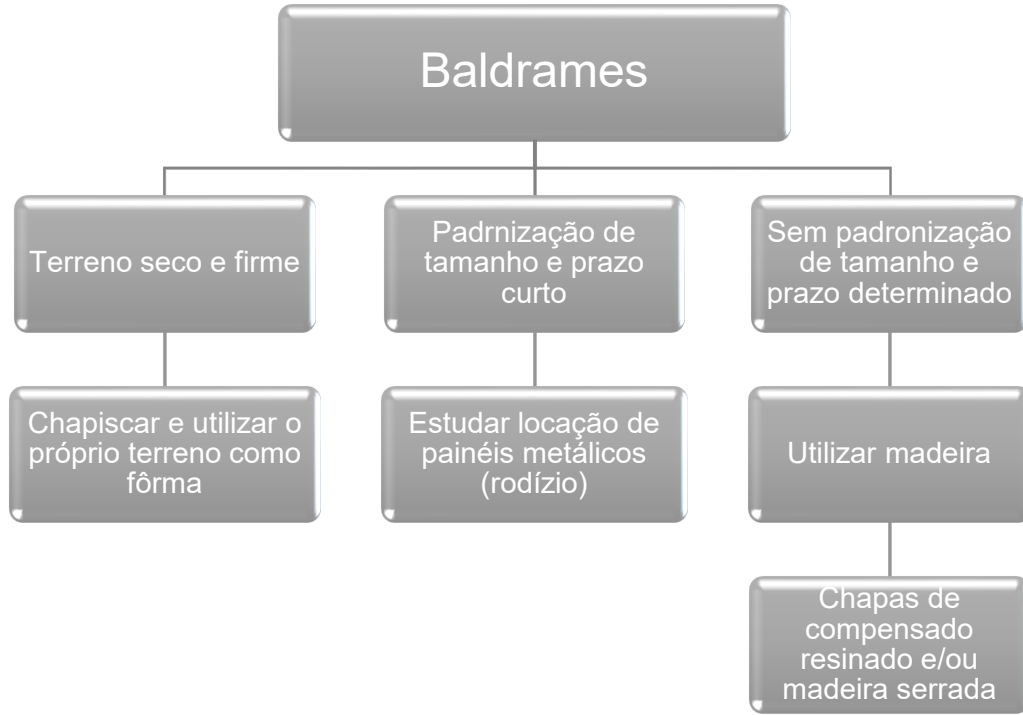
Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Figura 40 – Diagrama de orientação para confecção de fôrmas para caixas d'água superiores



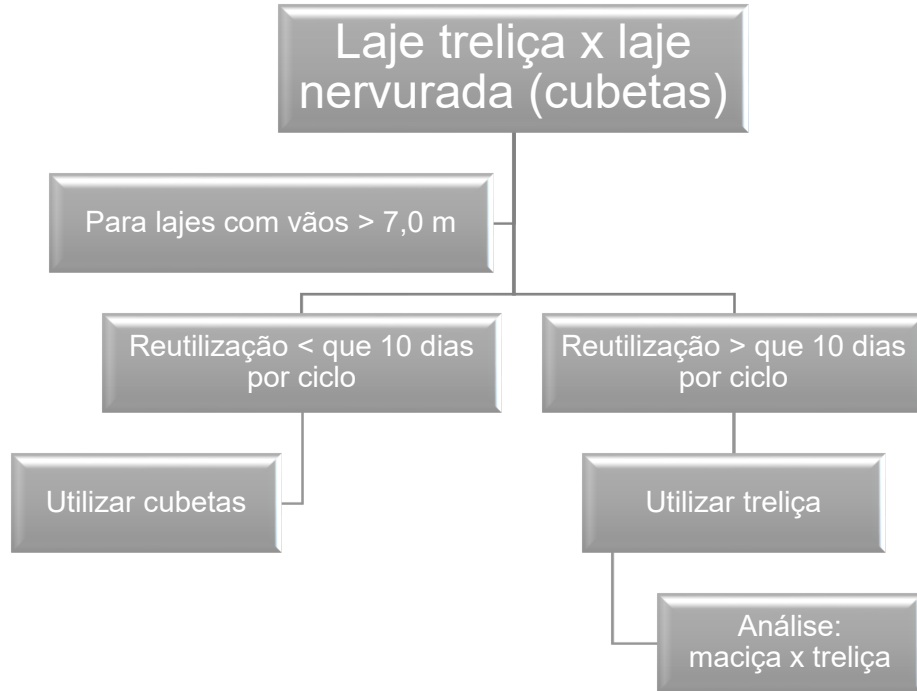
Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Figura 41 – Diagrama de orientação para confecção de fôrmas para vigas-baldrame



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Figura 42 – Diagrama de orientação para confecção de fôrmas para lajes treliçadas e lajes nervuradas (cubetas)



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

7 ESTUDO DE CASO

Quatro casos foram destacados para demonstrar a importância do entrosamento entre o arquiteto, o engenheiro de produção, o engenheiro projetista estrutural e o engenheiro projetista de fôrmas/cimbramentos, principalmente na fase da concepção do projeto e definição dos métodos e materiais a serem utilizados.

No primeiro, a escolha do partido estrutural foi completamente modificado em função do bom emprego das fôrmas de madeira em substituição às cubetas de polipropileno; no segundo, o projeto de aproveitamento da madeira foi previsto em função de grande variação das dimensões das vigas ao longo dos diversos pavimentos; no terceiro caso, um estudo para se optar entre laje treliçada e laje maciça e finalmente no quarto caso uma análise econômica entre alugar ou adquirir fôrma.

Embora o primeiro caso tenha ocorrido num edifício comercial, esses casos ilustram situações em construções de edifícios tanto residenciais ou comerciais em que a característica básica é o projeto de dois ou três andares atípicos, com garagem e térreo, e os demais respectivos, andares típicos de apartamentos ou conjuntos comerciais.

Com relação aos materiais usados para a produção das fôrmas, recomenda-se que os seguintes procedimentos sejam cuidadosamente observados, a fim de se otimizar o uso dos equipamentos:

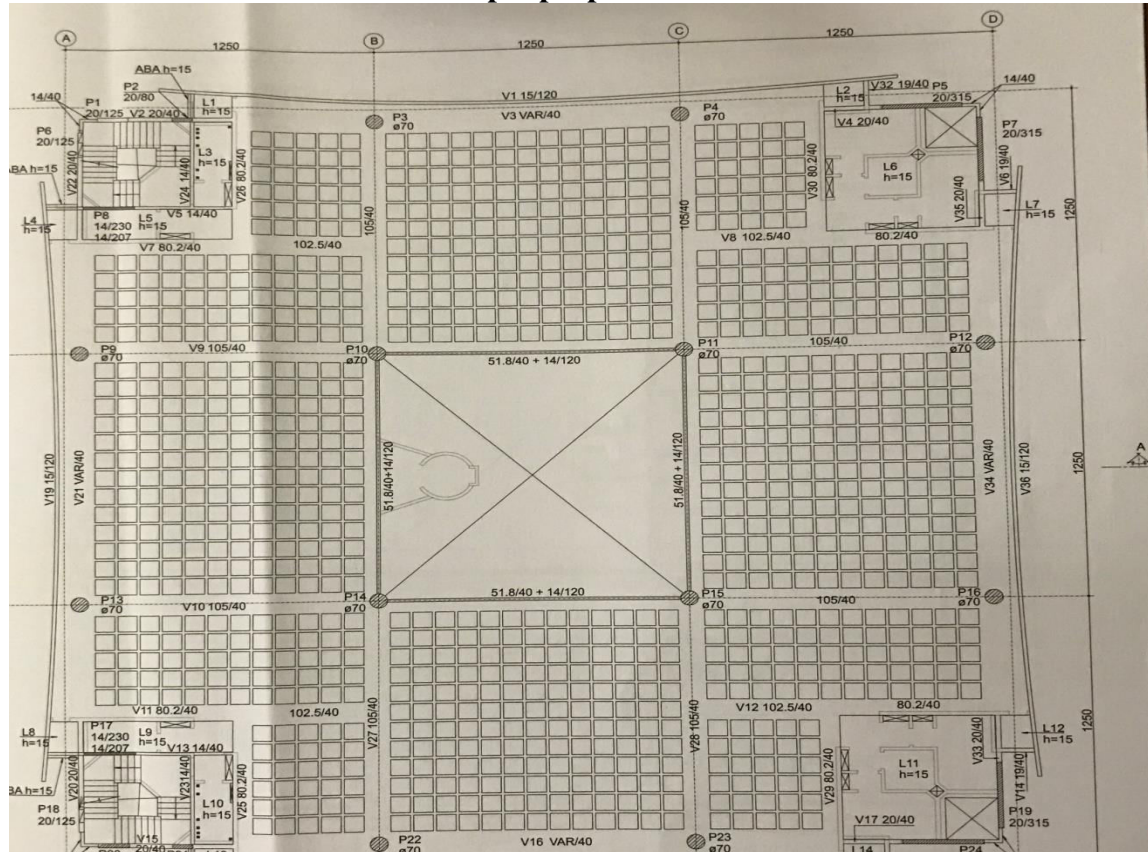
- a) A opção de comprar o equipamento metálico como torres, escoras, forcados, barras de ancoragem etc., deve ser pensada ou somente cogitada se a intenção da empresa é ter continuidade nas obras e ainda estar disposta a criar um departamento permanente de manutenção, caso contrário a opção é a locação do mesmo;
- b) A escolha dos compensados deve seguir um critério técnico e metódico onde o fornecedor deverá possuir as características físicas do material como resistência à compressão e módulo de elasticidade a fim de que o dimensionamento possa ser feito de acordo com a NBR 7190/97, além é claro, das garantias de colagem e resistência à abrasão para o número de usos especificado.

- c) No caso de compensados resinados, exigir que a colagem tenha sido feita com resina a prova d'água, do tipo fenol-formaldeído, por exemplo, ou com outras resinas fenólicas, desde que especificadas e garantidas. No caso de compensados plastificados pressupõe-se que todos já possuem essa característica.
- d) A madeira deve ser adquirida e testada em laboratórios idôneos, e de preferência com madeiras reflorestada, por ser uma postura ética e de colaboração com a manutenção das reservas florestais, além de serem perfeitamente utilizáveis no caso de fôrmas para concreto.
- e) Quando se prefere utilizar compensados de menor espessura como os de 12 mm ou 15 mm, deve-se levar em conta que esses compensados, por serem menos consumidos, em geral apresentam qualidade inferior aos de 18 mm, que são os mais utilizados, todavia, em obras com poucas repetições, o seu emprego tem sido feito com sucesso e a sua compra deve ser feita com uma fiscalização ainda mais rigorosa. Quando o número de repetições for maior, a melhor recomendação é utilizar o de 18 mm.

7.1 Caso 1

Trata-se de um edifício comercial, cujo projeto inicial foi concebido com vigas baixas e grandes vãos. Nas lajes, a solução adotada foi com cubetas de polipropileno, conforme mostra o projeto, na figura 43. Esta figura está também reproduzida no Anexo J, em escala aumentada, para melhor visualização das dimensões e dos detalhes de projeto. Embora esse edifício tenha sido projetado para seu uso comercial, o exemplo também se aplica a edifícios residenciais.

Figura 43 – Planta de um andar-tipo, do caso 1, com laje nervurada e uso de cubetas de polipropileno



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Em função do prazo de execução previsto no cronograma, os gastos aumentariam com a locação e o alto consumo de aço, necessários nas vigas (baixas), devido aos grandes vãos (12 m), o que fez com que fosse necessário um novo estudo de estrutura de concreto.

Embora o projeto inicial já estivesse totalmente concluído, a equipe composta pelo construtor, pelo arquiteto, pelo projetista estrutural e pelo projetista de fôrmas o modificou radicalmente, e foi escolhida uma solução tradicional, ou seja, com vigas de maior altura e lajes maciças. Pela alteração, um pequeno aumento no “pé-direito” foi necessário, porém o resultado foi surpreendente, com redução do consumo de aço e concreto da ordem de 24%.

Com relação às fôrmas o pequeno aumento na metragem quadrada justificou-se pela diminuição do custo da locação, que deixou de existir.

Neste caso, a perfeita interação entre os diversos profissionais envolvidos no processo resultou em uma expressiva redução de custos no empreendimento.

Outra solução poderia ser tentada, como vigas de maior altura, e, nas lajes, a continuação das cubetas, mas mais uma vez o fator prazo acabou pesando e a solução foi abandonada.

7.1.1 Análise do consumo dos materiais para laje nervurada

Para a laje do andar-tipo da figura 43, foi efetuada uma análise de custos a fim de compará-los com alternativas. As tabelas 26 e 27 apresentam as estimativas do consumo de fôrmas e de concreto para esse caso, de uso de laje nervurada com utilização de cubetas.

Tabela 26 – Estimativa do consumo de fôrmas com utilização de cubetas – laje nervurada

| | |
|----------------------|-------------------------|
| Pilares | 343 m ² |
| Lajes | 117,08 m ² |
| Vigas | 749,41 m ² |
| Lajes só com cubetas | 786,68 m ² |
| Total | 1.996,17 m ² |

Fonte: Elaborada por NAZAR, NILTON (2007)

Tabela 27 – Estimativa do consumo de concreto com utilização de cubetas, em laje nervurada com vigas baixas

| | |
|---------|-----------------------|
| Pilares | 43,34 m ³ |
| Lajes | 174,05 m ³ |
| Vigas | 169,00 m ³ |
| Total | 386,08 m ³ |

Fonte: Elaborada por NAZAR, NILTON (2007)

As tabelas 28 e 29 apresentam as estimativas do consumo de fôrmas e de concreto, para esse caso de uso de laje maciça como alternativa à laje nervurada.

Tabela 28 – Estimativa do consumo de fôrmas sem utilização de cubetas – laje maciça (*)

| | |
|---------|-------------------------|
| Pilares | 343,02 m ² |
| Lajes | 1.032,00 m ² |
| Vigas | 1.106,00 m ² |
| Total | 2.481,03 m ² |

(*) vide figura 43

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Tabela 29 – Estimativa do consumo de concreto sem utilização de cubetas – laje maciça (*)

| | |
|---------|-----------------------|
| Pilares | 43,34 m ³ |
| Lajes | 117,10 m ³ |
| Vigas | 151,93 m ³ |

(*) vide figura 43

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

A avaliação do consumo de concreto nas lajes nervuradas com relação à laje maciça resultou num aumento de 24%, conforme indicado nas tabelas 27 e 29, ou seja, $386,08/312,37 = 1,24$.

7.1.2 Análise econômica das fôrmas para a laje nervurada

Na tabela 30 é apresentado o cálculo do custo mensal para a confecção da laje nervurada com cubetas, sem utilização de fôrma de compensado sob elas.

Tabela 30 – Custo das fôrmas, sem o uso de compensado sob as cubetas

| | |
|---|---|
| Fôrmas (pilares, vigas e lajes maciças) – Tabela 21 | - 1.209,49 x R\$ 15,00/m ² = R\$ 18.142,35 |
| Quantidade de cimbramento usado | - 1.238 m ² (área do andar) x 3,90m (pé-direito) x 17,0 kg/m ³ (consumo unitário) = 82.079,40 kg |
| Custo de locação do cimbramentos | - R\$ 0,26/kg/mês (sem compensado) |
| Custo mensal de locação do cimbramentos | - 82.079,40 kg x R\$ 0,26/kg/mês = R\$ 21.340,64 |
| Custo de locação de cubetas | - R\$0,60/m ² /dia |
| Custo mensal de locação das cubetas | - 786,68 m ² x R\$ 0,60/m ² /dia x 30 dias = R\$ 14.160,24 |
| | TOTAL = R\$ 53.642,35 |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Na tabela 31 é apresentado o cálculo para o custo mensal pra a confecção da laje nervurada com cubetas, com utilização de fôrma de compensado sob elas.

Tabela 31 – Custo das fôrmas com o uso de compensado sob as cubetas

| | |
|---|---|
| Fôrmas (pilares, vigas e lajes maciças) – Tabela 21 | - 1.996,17 m ² x R\$ 15,00/m ² = R\$ 29.942,55 |
| Quantidade de cimbramento usado | - 1.238 m ² (área do andar) x 3,90m (pé-direito) x 17,0 kg/m ³ (consumo unitário) = 82.079,40 kg |
| Custo de locação do cimbramentos | - R\$ 0,17/kg/mês (com compensado) |
| Custo mensal de locação do cimbramentos | - 82.079,40 kg x R\$ 0,17/kg/mês = R\$ 13.953,50 |
| Custo de locação de cubetas | - R\$0,60/m ² /dia |
| Custo mensal de locação das cubetas | - 786,68 m ² x R\$ 0,60/m ² /dia x 30 dias = R\$ 14.160,24 |
| | TOTAL = R\$ 58.056,29 |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

7.1.3 Análise econômica do aço e do concreto para a laje nervurada

Na tabela 32, são apresentados os cálculos para os custos de aço e de concreto usados na confecção da laje nervurada com cubetas.

Tabela 32 – Consumo de aço e de concreto

| | |
|-------------------|---|
| Custo do aço | $386,06 \text{ m}^3 \text{ (tabela 34)} \times 150,0 \text{ kg de aço/m}^3 \text{ de concreto} \times \text{R\$ } 2,70/\text{kg de aço} = \text{R\$ } 156.354,30$ |
| Custo do concreto | $386,08 \text{ m}^3 \times \text{R\$ } 160,00/\text{m}^3 = \text{R\$ } 61.772,80$ |
| | TOTAL = R\$ 218.127,10 |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Na tabela 33, são apresentados os valores finais dos custos para confecção da laje nervurada com cubetas do pavimento-tipo.

Tabela 33 – Consumo de aço e de concreto

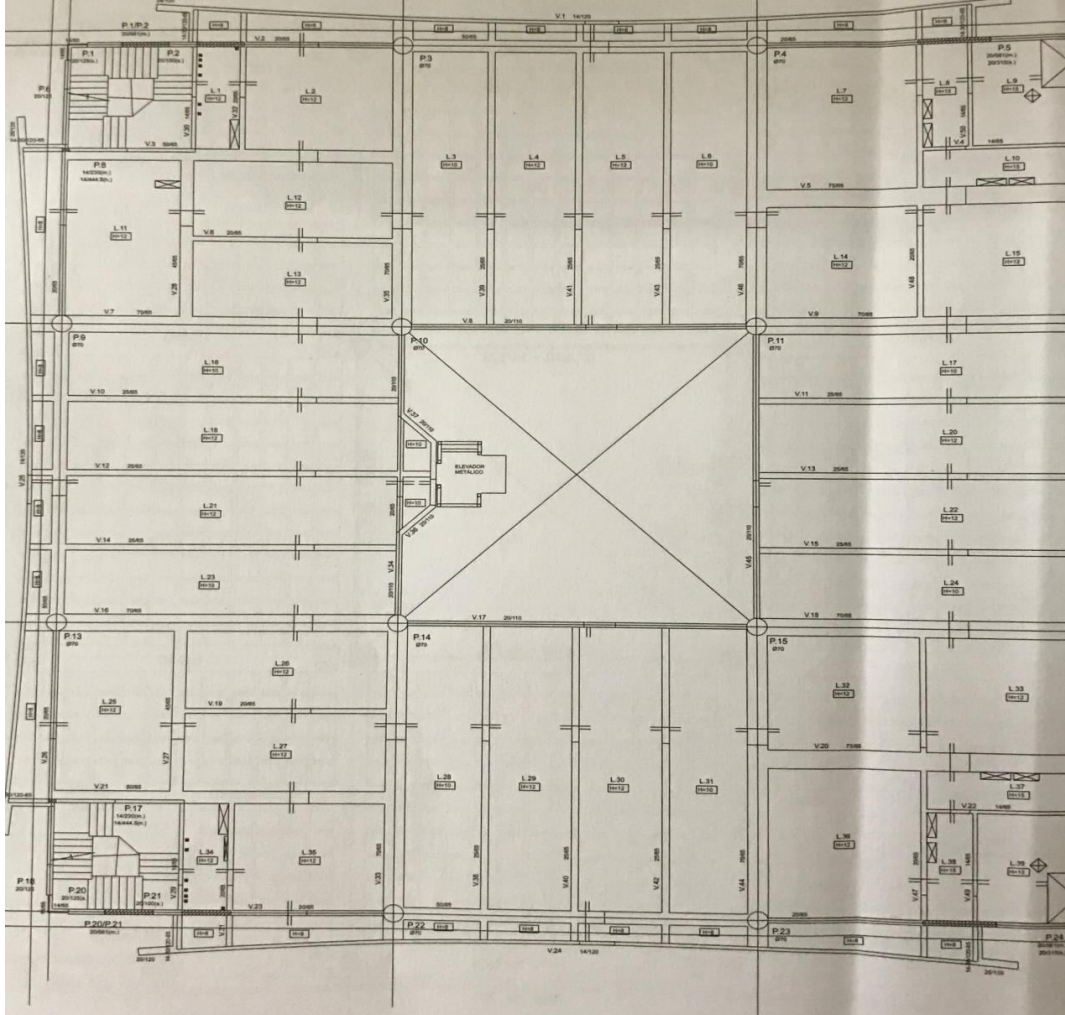
| | |
|---|---|
| Sem utilização de fôrmas sob as lajes | $\text{R\$ } 53.642,35 + \text{R\$ } 218.127,10 = \text{R\$ } 271.769,45$ |
| Com utilização de fôrmas sob as cubetas | $\text{R\$ } 58.056,29 + \text{R\$ } 218.127,10 = \text{R\$ } 276.183,39$ |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

7.1.4 Análise econômica das fôrmas para a laje maciça

Como alternativa à laje nervurada, a figura 44 apresenta a planta do andar-tipo com a solução em laje maciça. Essa figura também está reproduzida no anexo K, em escala aumentada, para melhor visualização das dimensões e dos detalhes de projeto.

Figura 44 – Esquema do andar-tipo com laje maciça



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

A tabela 34 apresenta as estimativas do consumo de fôrmas e de cimbramento, para o caso de uso da laje maciça.

Tabela 34 – Custo para confecção das fôrmas e do cimbramento da laje maciça

| | |
|---|---|
| Fôrmas (pilares, vigas e lajes maciças) – tabela 23 | 2.481,03 m ² (tabela 35) x R\$ 15,00/m ² de fôrma = R\$ 37.215,45 |
| Custo mensal de locação do cimbramentos | 1.238 m ² (área do andar) x 3,90 m (pé direito) x 18,80 kg/m ³ (consumo unitário) x R\$ 0,17/kg/mês = R\$ 15.430,93 |
| | TOTAL = R\$ 52.646,38 |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

7.1.5 Análise econômica do aço e do concreto da laje maciça

Na tabela 35, são apresentados os cálculos para os custos de aço e concreto usados na confecção da laje maciça.

Tabela 35 – Custo do aço e do concreto

| | |
|-------------------|---|
| Custo do aço | 312,37 m ³ (tabela 33) x 100 kg de aço/m ³ de concreto x R\$ 2,70/kg de aço = R\$ 84.339,90 |
| Custo do concreto | 312,37 m ³ x R\$ 160,00/m ³ de concreto = R\$ 49.979,20 |
| | TOTAL = R\$ 134.319,10 |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Na tabela 36, são apresentados os valores finais dos custos para confecção de laje maciça do pavimento-tipo.

Tabela 36 – Custo do aço e do concreto

| | |
|----------------------|-------------------------------|
| Fôrma + cimbramentos | R\$ 52.646,38 (tabela 29) |
| Concreto e aço | R\$ 134.319,10 (tabela 30) |
| | TOTAL = R\$ 186.965,48 |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

A diferença apurada para o uso de laje maciça sobre o uso de laje nervurada foi de 68%, para o caso da laje nervurada sem utilização de chapas de compensado sob a laje e, de 69%, no caso de não-utilização de chapas de compensado sob a laje.

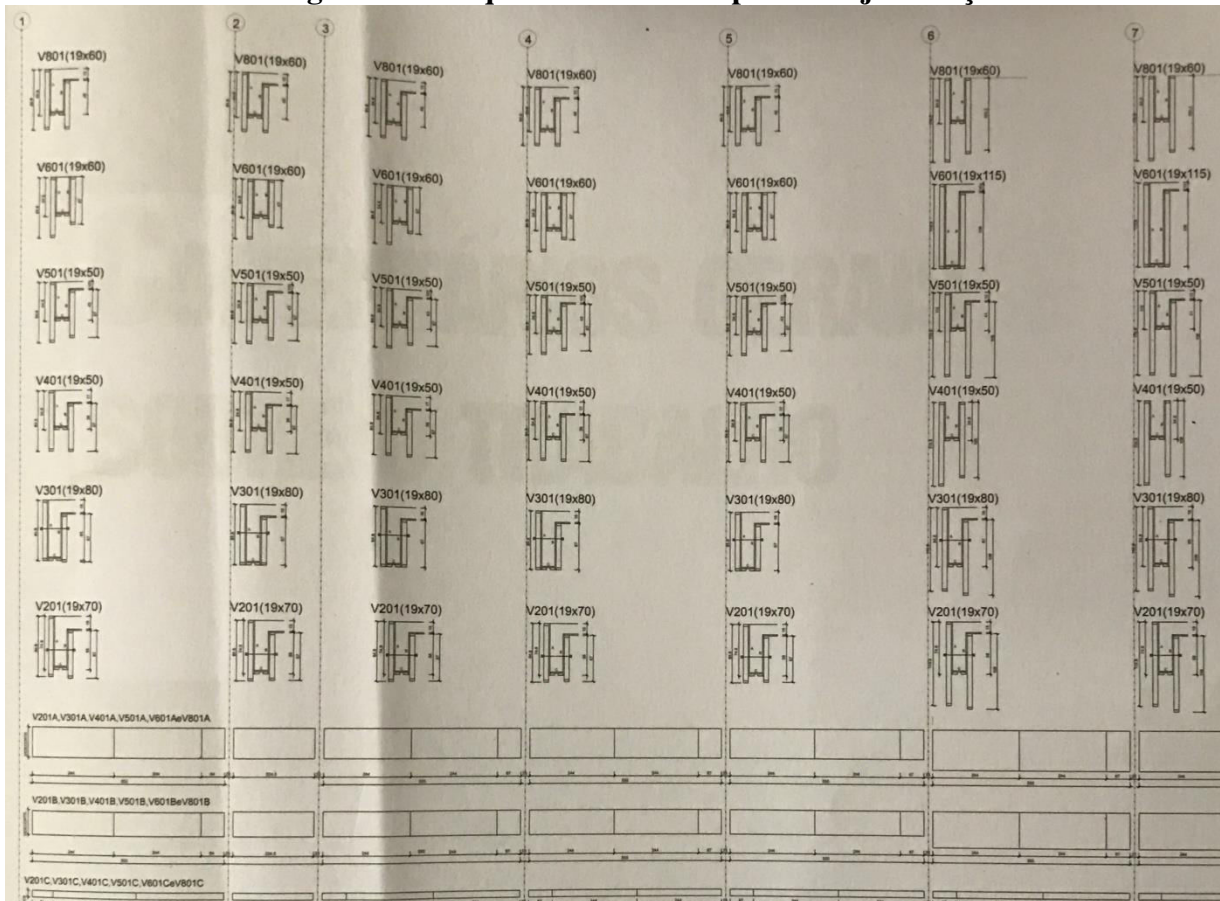
7.1.6 Conclusão do caso 1

A solução adotada nesse empreendimento foi construir o pavimento com laje maciça (sem nervuras), que acabou resultando em grande economia na estrutura, confirmada plenamente quando concluída.

7.2 Caso 2

Ao verificar o projeto concebido originalmente observou-se que não houve a preocupação em uniformizar o tamanho das vigas. Em seis pavimentos na mesma prumada havia quatro tipos de seções diferentes. A solução foi criar um módulo com menor tamanho de painel de compensado, e o travamento (gravata) com tamanho da maior, de modo que, desde o primeiro pavimento, somente fosse necessário colocar e retirar tiras de compensado para completar a seção de cada viga. Esses travamentos passavam entre os barrotes horizontais que sustentavam as vigas, conforme mostrado esquematicamente na figura 45. Esta figura está reproduzida no Anexo L, em escala aumentada, para melhor visualização das dimensões e dos detalhes de projeto.

Figura 45 – Esquema do andar-tipo com laje maciça



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Durante a execução da obra, o maior benefício do aproveitamento de fôrmas foi imediatamente notado pela mão-de-obra, que, no princípio, estranhou ter que executar as seções diferentes, mas logo entendeu as alterações e se adaptou a elas, resultando em grande economia de material e mão-de-obra.

7.2.1 Conclusão do caso 2

Pela análise do caso, fica claro que a forma mais adequada de tratar o projeto seria se, na ocasião da elaboração do projeto da estrutura de concreto, houvesse compatibilização entre o projetista de fôrmas e o engenheiro estrutural. Isso não ocorre na maioria das vezes, prejudicando todos os envolvidos no processo, que têm que se desdobrar na busca de soluções de obra e de avaliação econômica, pelas perdas materiais envolvidas.

7.3 Caso 3 – Laje maciça x Laje treliçada

O intuito, nesse caso, foi efetuar uma análise do projeto de um edifício de apartamentos com dois subsolos e um pavimento térreo, para o qual deveria ser feita uma avaliação para se utilizar lajes treliçadas com EPS (Expanded Poli-Styrene), adotar a solução tradicional de construir, ou seja, com lajes maciças.

Nesse caso, o diagrama da figura 53 pode ser usado como orientação. Primeiramente, foi feita uma cotação com uma empresa especializada em lajes treliçadas, a qual forneceu, além do material básico, o consumo adicional de aço complementar. Para esses casos, foram fornecidos os vãos e as sobrecargas de projeto.

Por outro lado, para apurar se a solução seria a mais adequada, foi solicitado ao projetista estrutural o consumo de aço e de concreto. Nesse caso, as espessuras foram mantidas, o que nem sempre ocorre em situações similares.

Foram avaliados os custos das fôrmas de madeira (painéis e sarrafos) e o custo do cimbramento metálico nos dois casos, conforme mostra a tabela 44. Com essas verificações, conseguiu-se obter, de imediato, o resultado. Apesar da diferença dos consumos de concreto, nos dois casos o que preponderou significadamente foi o consumo de aço na laje maciça, em torno 80 kg/m³, o que acabou viabilizando a laje treliçada.

O diagrama da figura 46, a seguir, mostra o roteiro para a tomada de decisão em projeto envolvendo laje maciça e laje treliçada.

Figura 46 – Diagrama de orientação para confecção de fôrmas para lajes maciças e lajes treliçadas



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

7.3.1 Cálculo do custo das fôrmas para as lajes maciça e treliçada

1. Fôrma para laje treliçada

1a) Locação: $3,33 \text{ kg de aço/m}^2 \times 3,0 \text{ m (pé-direito)} \times \text{R\$ } 0,18/\text{kg/m}^2 \text{ mês}$
 $\Rightarrow \text{R\$ } 1,80/\text{m}^2/\text{mês}$. Para um ciclo de 10 dias tem-se $\text{R\$ } 0,60/\text{m}^2$.

1b) Mão-de-obra de armazenagem e colocação: $0,53\text{h/m}^2 \times \text{R\$ } 2,67/\text{h} \times 2,24 \text{ (encargos sociais)} \Rightarrow$
 $\text{R\$ } 3,14/\text{m}^2$.

1c) Total = $\text{R\$ } 3,74/\text{m}^2$

2. Fôrma para laje maciça

2a) Custo unitário por m² de chapa de compensado de 8 utilizações: R\$ 61,68/2,9768 (área de uma chapa) => R\$ 20,72/m² => para 8 usos => R\$ 2,59/m².

2b) Locação de cimbramento: 18,40 kg/m³ (consumo de aço) x 3,0 m (pé-direito) x R\$ 0,18/kg/mês => R\$ 9,94/m²/mês, para um ciclo de 10 dias => R\$ 3,31/m².

2c) Mão-de-obra de execução da fôrma: 1,0 h/m² x R\$ 3,19/h x 2,24 (encargos sociais)/8 usos => R\$ 0,89/m²

2d) Custo de hora técnica para alteração de projeto => R\$ 1,45/m²

2e) R\$ 8,24/m²

Os demais insumos, como aço e concreto, são os mesmos obtidos para os cálculos usados no estudo de caso 1 deste capítulo.

A tabela 37 mostra os custos envolvidos para a execução de laje treliçada, montada com painéis de 0,40 m e 0,25 m (hipótese H1), ou montada com painel de 1,20 m, (hipótese H2), comparados com os custos envolvidos para confecção de laje maciça, com consumo de 75 kg de aço/m³ de concreto (hipótese H3), ou 80 kg de aço/m³ de concreto (hipótese H4).

Tabela 37 – Composição de custo de laje treliça x laje maciça

| H 1 | Área (m ²) | Consumo de aço | | Consumo de concreto | | Custo da fôrma | | Custo do concreto | | Custo do aço | |
|--|------------------------|-------------------|------------|--------------------------------|-------------------------|----------------|---------------------|-------------------|----------------------|--------------|----------------------|
| | | kg/m ² | Total (kg) | m ² /m ² | Total (m ³) | m ² | Total | m ³ | Total | RS/ kg | Total |
| Laje de concreto treliçada (painel 0,4m e 0,25m) | | | | | | | | | | | |
| 12 | 206,00 | 2,5 | 515,00 | 0,090 | 18,54 | R\$ 3,74 | R\$ 770,44 | R\$ 160,00 | R\$ 2.966,40 | R\$ 2,70 | R\$ 1.390,50 |
| 16 | 117,53 | 2,5 | 293,83 | 0,064 | 7,52192 | R\$ 3,74 | R\$ 439,56 | R\$ 160,00 | R\$ 1.203,51 | R\$ 2,70 | R\$ 793,33 |
| 20 | 153,00 | 2,85 | 436,05 | 0,102 | 15,606 | R\$ 3,74 | R\$ 572,22 | R\$ 160,00 | R\$ 2.496,96 | R\$ 2,70 | R\$ 1.177,34 |
| 25 | 414,50 | 2,85 | 1.181,33 | 0,131 | 54,2995 | R\$ 3,74 | R\$ 1.550,23 | R\$ 160,00 | R\$ 8.687,92 | R\$ 2,70 | R\$ 3.189,58 |
| 30 | 270,55 | 3 | 811,65 | 0,155 | 41,9353 | R\$ 3,74 | R\$ 1.011,86 | R\$ 160,00 | R\$ 6.709,64 | R\$ 2,70 | R\$ 2.191,46 |
| | 1.161,58 | | | | | | R\$ 4.344,31 | | R\$ 22.064,43 | | R\$ 8.742,20 |
| CUSTO FINAL = custo de fornecimento(*) (R\$ 59.857,58) + R\$ 4.344,31 + R\$ 22.064,43 + R\$ 8.742,20 = R\$ 95.008,51 | | | | | | | | | | | |
| H 1 | Área (m ²) | Consumo de aço | | Consumo de concreto | | Custo da fôrma | | Custo do concreto | | Custo do aço | |
| | | kg/m ² | Total (kg) | m ² /m ² | Total (m ³) | m ² | Total | m ³ | Total | RS/ kg | Total |
| Laje de concreto treliçada opção 2 (painel 1,20m) | | | | | | | | | | | |
| 12 | 206,00 | 2,5 | 515,00 | 0,080 | 16,48 | R\$ 3,74 | R\$ 770,44 | R\$ 160,00 | R\$ 2.636,80 | R\$ 2,70 | R\$ 1.390,50 |
| 16 | 117,53 | 2,5 | 293,83 | 0,060 | 7,0518 | R\$ 3,74 | R\$ 439,56 | R\$ 160,00 | R\$ 1.128,29 | R\$ 2,70 | R\$ 793,33 |
| 20 | 153,00 | 2,85 | 436,05 | 0,070 | 10,71 | R\$ 3,74 | R\$ 572,22 | R\$ 160,00 | R\$ 1.713,60 | R\$ 2,70 | R\$ 1.177,34 |
| 25 | 414,50 | 2,85 | 1.181,33 | 0,090 | 37,305 | R\$ 3,74 | R\$ 1.550,23 | R\$ 160,00 | R\$ 5.968,80 | R\$ 2,70 | R\$ 3.189,58 |
| 30 | 270,55 | 3 | 811,65 | 0,102 | 27,5961 | R\$ 3,74 | R\$ 1.011,86 | R\$ 160,00 | R\$ 4.415,38 | R\$ 2,70 | R\$ 2.191,46 |
| | 1161,58 | | | | | | R\$ 4.344,31 | | R\$ 15.862,86 | | R\$ 8.742,20 |
| CUSTO FINAL = custo do fornecimento (*) (R\$ 54.934,40) + R\$ 4.344,31 + R\$ 15.862,86 + R\$ 8.742,20 = R\$ 83.883,77 | | | | | | | | | | | |
| H3 | Área (m ²) | Consumo de aço | | Consumo de concreto | | Custo da fôrma | | Custo do concreto | | Custo do aço | |
| | (m ²) | kg/m ² | Total (kg) | m ² /m ² | Total (m ³) | m ² | Total | m ³ | Total | RS/ kg | Total |
| Laje de concreto maciça, com consumo de aço 75 kg/m³ | | | | | | | | | | | |
| 12 | 206,00 | 9 | 1.854,00 | 0,12 | 24,72 | 8,24 | R\$ 1.697,44 | R\$ 160,00 | R\$ 3.955,20 | R\$ 2,70 | R\$ 5.005,80 |
| 16 | 117,53 | 12 | 1.410,36 | 0,16 | 18,8048 | 8,24 | R\$ 968,45 | R\$ 160,00 | R\$ 3.008,77 | R\$ 2,70 | R\$ 3.807,97 |
| 20 | 153,00 | 15 | 2.295,00 | 0,20 | 30,6 | 8,24 | R\$ 1.260,72 | R\$ 160,00 | R\$ 4.896,00 | R\$ 2,70 | R\$ 6.196,50 |
| 25 | 414,50 | 18,8 | 7.771,88 | 0,25 | 103,625 | 8,24 | R\$ 3.415,48 | R\$ 160,00 | R\$ 16.580,00 | R\$ 2,70 | R\$ 20.984,06 |
| 30 | 270,55 | 22,5 | 6.087,38 | 0,30 | 81,165 | 8,24 | R\$ 2.229,33 | R\$ 160,00 | R\$ 12.986,40 | R\$ 2,70 | R\$ 16.435,91 |
| | 1.161,58 | | | | 258,915 | | R\$ 9.571,42 | | R\$ 41.426,37 | | R\$ 52.430,25 |
| CUSTO FINAL = R\$ 9.571,42 + R\$ 41.426,37 + R\$ 52.430,25 = R\$ 103.428,03 | | | | | | | | | | | |
| H4 | Área (m ²) | Consumo de aço | | Consumo de concreto | | Custo da fôrma | | Custo do concreto | | Custo do aço | |
| | (m ²) | kg/m ² | Total (kg) | m ² /m ² | Total (m ³) | m ² | Total | m ³ | Total | RS/ kg | Total |
| Laje de concreto maciça, com consumo de aço 80 kg/m³ | | | | | | | | | | | |
| 12 | 206,00 | 9,6 | 1.977,60 | 0,12 | 24,72 | 8,24 | R\$ 1.697,44 | R\$ 160,00 | R\$ 3.955,20 | R\$ 2,70 | R\$ 5.339,52 |
| 16 | 117,53 | 12,8 | 1.504,38 | 0,16 | 18,8048 | 8,24 | R\$ 968,45 | R\$ 160,00 | R\$ 3.008,77 | R\$ 2,70 | R\$ 4.061,84 |
| 20 | 153,00 | 16 | 2.448,00 | 0,20 | 30,6 | 8,24 | R\$ 1.260,72 | R\$ 160,00 | R\$ 4.896,00 | R\$ 2,70 | R\$ 6.609,60 |
| 25 | 414,50 | 20 | 8.290,00 | 0,25 | 103,625 | 8,24 | R\$ 3.415,48 | R\$ 160,00 | R\$ 16.580,00 | R\$ 2,70 | R\$ 22.383,00 |
| 30 | 270,55 | 24 | 6.493,20 | 0,30 | 81,165 | 8,24 | R\$ 2.229,33 | R\$ 160,00 | R\$ 12.986,40 | R\$ 2,70 | R\$ 17.531,64 |
| | 1.161,58 | | | | 258,915 | | R\$ 9.571,42 | | R\$ 41.426,37 | | R\$ 55.925,60 |
| CUSTO FINAL = R\$ 9.571,42 + R\$ 41.426,37 + R\$ 55.925,60 = R\$ 106.923,39 | | | | | | | | | | | |

Obs: (*) refere-se ao custo total (material + frete) da laje treliçada colocada na obra

(*) refere-se ao custo total (material + frete) da laje treliçada colocada na obra
Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

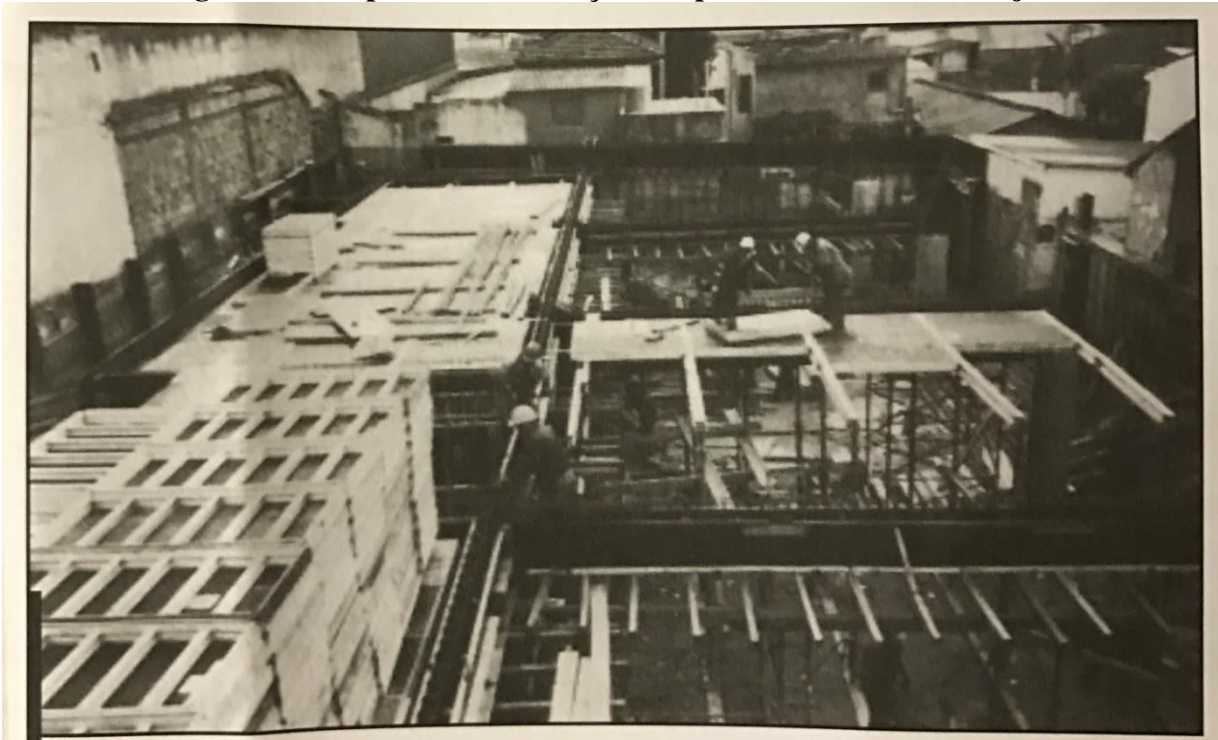
7.3.2 Conclusão do caso 3

Independentemente da solução adotada, que nesse caso foi a laje treliçada, o que se mostrou nesse estudo foi a forma de abordar o assunto, ou seja, de uma forma holística em relação à estrutura e não somente enfocando as fôrmas, pois esses aspectos, como vem sendo frisado ao longo do trabalho, se revestem da maior importância.

7.4 Caso 4

Para ilustrar, uma situação de decisão entre alugar ou adquirir um sistema de fôrmas para uma estrutura do andar térreo de edifício, utilizando painéis alugando tipo “drop-head”. Nesse caso, a opção escolhida foi a utilização de painéis alugados para a construção de laje, pois, devido às condições da obra, seria utilizando o jogo de fôrmas de lajes somente uma vez. A figura 47 mostra aspectos da coleção dos painéis metálicos.

Figura 47 – Aspectos da colocação dos painéis metálicos nas lajes

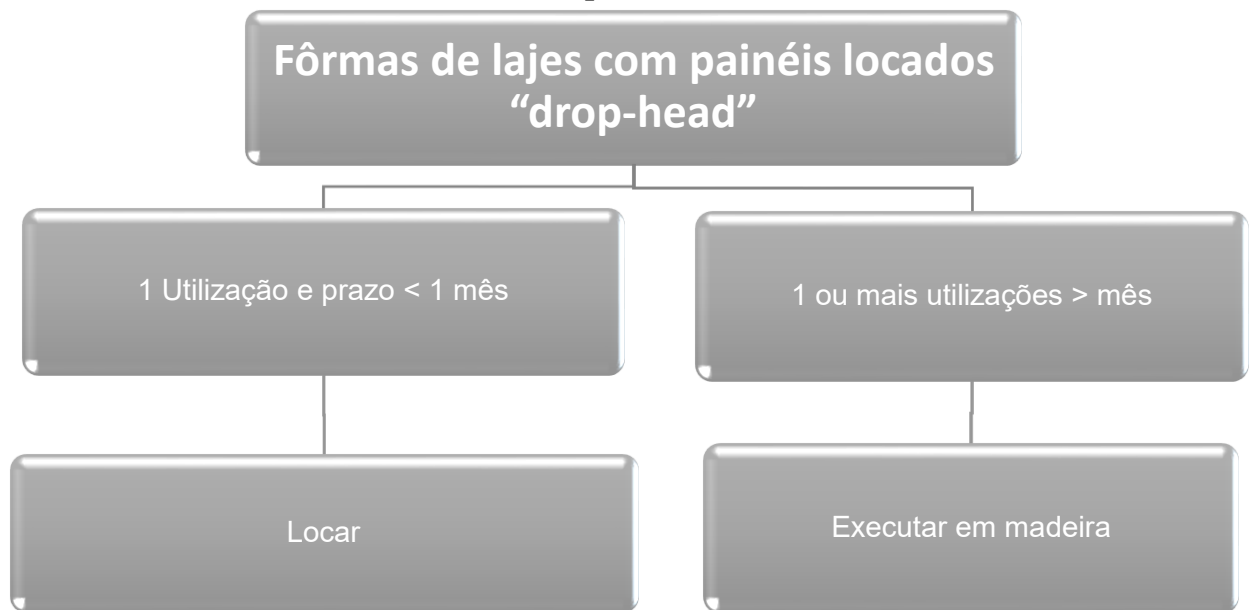


Fonte: NAZAR, NILTON(2007)

O custo comparativo foi feito considerando o valor da locação dos painéis, R\$ 0,60/m²/dia, incluindo o cimbramento, tipo “drop-head”, conforme a figura 47, sobre o qual os painéis são colocados e complementados com chapas de compensado nas laterais.

O diagrama da figura 53 mostra as alternativas e os caminhos podem ser considerados para auxiliar na tomada de decisão entre alugar ou comprar e executar o sistema de fôrmas.

Figura 38 – Diagrama de orientação para confecção de fôrmas para lajes com painéis do tipo “drop-head”



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

Para que o custo seja menor do que a compra de compensados, é necessário que o tempo de utilização seja menor do que 15 dias, prevendo-se todos os imprevistos, como chuva, adaptação ao sistema etc., o que efetivamente não ocorreu. Por isso, a seguinte estratégia foi montada:

- a) Concretagem dos pilares “solteiros”, isto é, sem que as vigas e lajes tivessem sido colocadas;
- b) Montagem e armação das vigas;
- c) Colocação da armação das lajes e colocação das instalações elétricas;
- d) Concretagem das lajes;
- e) Desenforma e entrega dos painéis.

A conclusão das etapas 3 a 5 ocorreu em um período de 12 dias, e o término da desenforma ocorreu dentro de 15 dias. A tabela 38 resume a composição de custos para esse caso.

Tabela 38 – Comparação de custos para lajes com cimbramento “drop-head” x convencional, com chapas de compensado

| | |
|--|---|
| Custo das chapas = R\$ 15,45/m ² | Locação dos painéis tipo “drop-head” |
| Locação do cimbramento = R\$ 3,39/m ² quinzena | R\$ 0,60/m ² dia x 15 dias = R\$ 9,90 (cimbramento incluso) |
| TOTAL = R\$ 18,84 | TOTAL = R\$ 9,90 |

Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

7.4.1 Conclusão do caso 4

Como se pode notar, nesse caso foi tremendamente vantajosa a utilização de painéis locados, cujo custo foi menos da metade do custo da opção de compra. Observe-se, porém, que tal vantagem só foi possível devido à adoção da logística acima citada, que acabou realmente acontecendo na obra, confirmando-se plenamente a expectativa.

8 SISTEMA DE FÔRMA DE MADEIRA PRONTA (MAX FÔRMA TÉCNICAS EM CONSTRUÇÕES)

A **Max Fôrma Técnicas em Construções** é uma empresa prestadora de serviço especializada no segmento de execução de fôrma, montagem de aço e lançamento de concreto bombeado para estruturas em concreto armado, considerada uma das grandes empresas na capital do estado de Minas Gerais em parceria com grandes construtoras do seguimento.

Conceituada no ramo fôrma, montagem de aço e lançamento de concreto bombeado para estruturas em concreto armado, somando 14 anos de experiência.

Em relação à prestação dos serviços inerente a fôrma, atuamos oferecendo aos nossos clientes a execução da fôrma com toda mão de obra especializada, materiais e equipamentos necessários para execução do mesmo.

Com a constante preocupação em aperfeiçoar seus processos de produção, sempre respeitando as normativas de segurança, as legislações trabalhistas, a legislação tributária, com consciência ambiental e social, a Max Fôrma implantou um conceito de produção de fôrma de madeira pronta com travamentos metálicos.

Tal prática é pouco utilizada pelas empresas de construção.

Percebemos ao longo dessa nossa caminhada na execução de estruturas, que é muito mais cômodo para as equipes de produção ou até mesmo para quem está gerindo a operação, realizar a confecção das fôrmas em canteiro de obra, uma vez que a implantação de um sistema de fôrma pronta exige um planejamento logístico e operacional muito mais refinado.

Ao invés de realizar a confecção das fôrmas em canteiro de obra, onde a produção das mesmas gera menor segurança para os operadores, desperdícios dos materiais, retrabalhos, perda na produção ou até mesmo desorganização por falta de espaço em loco, criamos uma central de fôrma fora dos canteiros das obras de nossos clientes.

O conceito é análogo a sistemas do aço que antigamente chegava aos canteiros das obras em barras estiradas, onde os cortes e dobras eram feitos na maioria das vezes. Hoje a realidade cultural desta operação é bastante diferente, as empresas já entenderam e aderiram o sistema de aço que já vem cortado e dobrado da indústria. Esse processo só minimizou as perdas de aço nos canteiros das obras e aumentou a produtividade da equipe de produção.

Esse também é o nosso objetivo, claro que inicialmente terá um custo adicional considerado vez que, a empresa prestadora do serviço ou a empresa que está gerindo a operação,

irá precisar de um espaço próprio para a instalação desta central. Óbvio que cabe a cada empresa fazer sua viabilidade, mas não temos dúvida que vencida esta etapa, esse processo oferece muitas e grandes vantagens. Tais como:

- a) Economia: Possibilidade de uma paginação mais elaborada do projeto, tendo como reflexo uma distribuição mais eficiente dos compensados, painéis, tiras e um reaproveitamento maior dos mesmos.
- b) Segurança no Trabalho: Eliminação da Banca de Serra em canteiro de obra, que é um dos equipamentos que mais causam acidentes no trabalho, vez que muitas pessoas sem a devida habilitação acabam operando esse equipamento tendo como consequência acidentes com corte e mutilações terríveis.
- c) Passivo Trabalhista: Muitas das vezes os equipamentos de Banca de Serra não são instalados de acordo com as normas de segurança em vigor, realizadas assim muitas consideráveis por fiscais do Ministério do Trabalho.
- d) Consciência Ambiental: O meio ambiente agradece vez que, esse processo não elimina a perda de madeiras, mas minimiza muito o seu desperdício principalmente nas fôrmas de fundações, pilares, vigas, escadas e arremates para lajes.
- e) Organização: Canteiro de obra com menos resíduo de madeiras, oferecendo assim uma obra mais limpa com menos risco de acidentes.

Imagem 5 - Operação na Central de Fôrmas Max Fôrma Técnicas em Construções



Fonte: Fotos do autor

Imagem 6 - Operação na Central de Fôrmas Max Fôrma Técnicas em Construções



Fonte: Fotos do autor

Imagem 7

Fonte: Fotos do autor

Imagem 8

Fonte: Fotos do autor

9 CONCLUSÃO

Este trabalho procurou demonstrar e indicar a atitude, ou decisão, que se pode tomar para a escolha do sistema de fôrmas. É claro que a situação ideal será aquela em que a intervenção do projetista de fôrma seja feita logo na definição do projeto estrutural de concreto armado e sempre juntamente com o construtor e o arquiteto, que são as outras partes muito importantes na definição do empreendimento, visto de uma forma holística e sistêmica.

O mau dimensionamento do sistema de fôrmas pode apresentar ao longo do período de execução, ou mesmo após a entrega da obra, sequelas, com o surgimento de fissuras decorrentes de uma deformação lenta, influenciada por esse mau dimensionamento. Com relação a isso, os planos de escoramento e reescoramento poderiam ser objetos de outro trabalho, cuja relevância é igual ou superior à do projeto de fôrmas propriamente dito.

Os carregamentos decorrentes do peso próprio da estrutura de concreto, em muitos casos podem ser maiores do que as sobrecargas previstas no projeto estrutural. Dependendo do prazo programado para a desenforma, o módulo de deformação, ou módulo de elasticidade, previsto no projeto estrutural de concreto ainda pode não ter o seu valor esperado atingido.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9532**: Chapas de madeira compensada – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

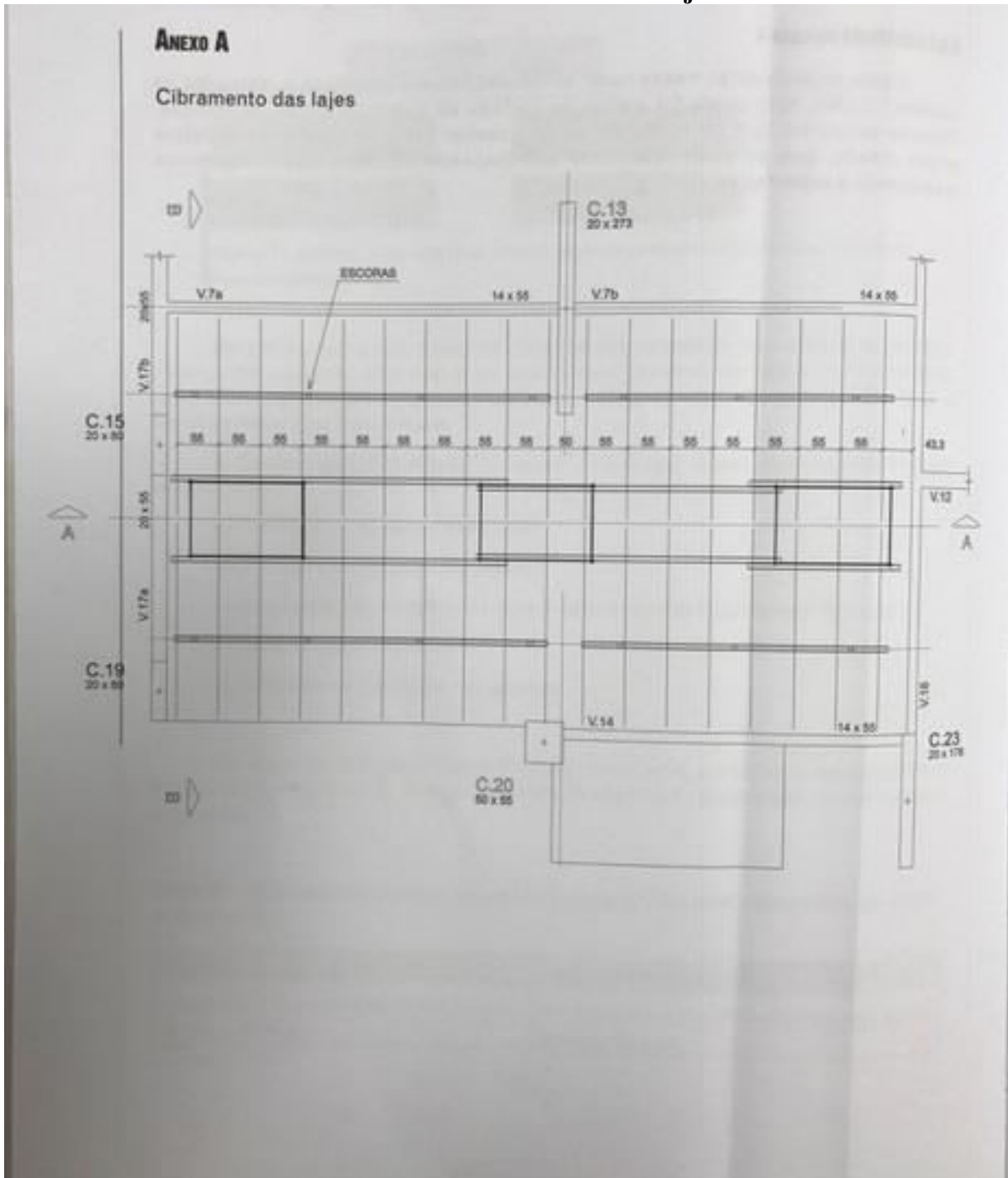
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15696**: Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

MANUAL SH: de fôrmas para concreto e escoramento metálicos. São Paulo: PINI, 2008. 287 p.

NAZAR, Nilton. **Fôrmas e escoramento para edifícios**: critérios para dimensionamento e escolha do sistema. São Paulo, SP: PINI, 2007. 173 p.

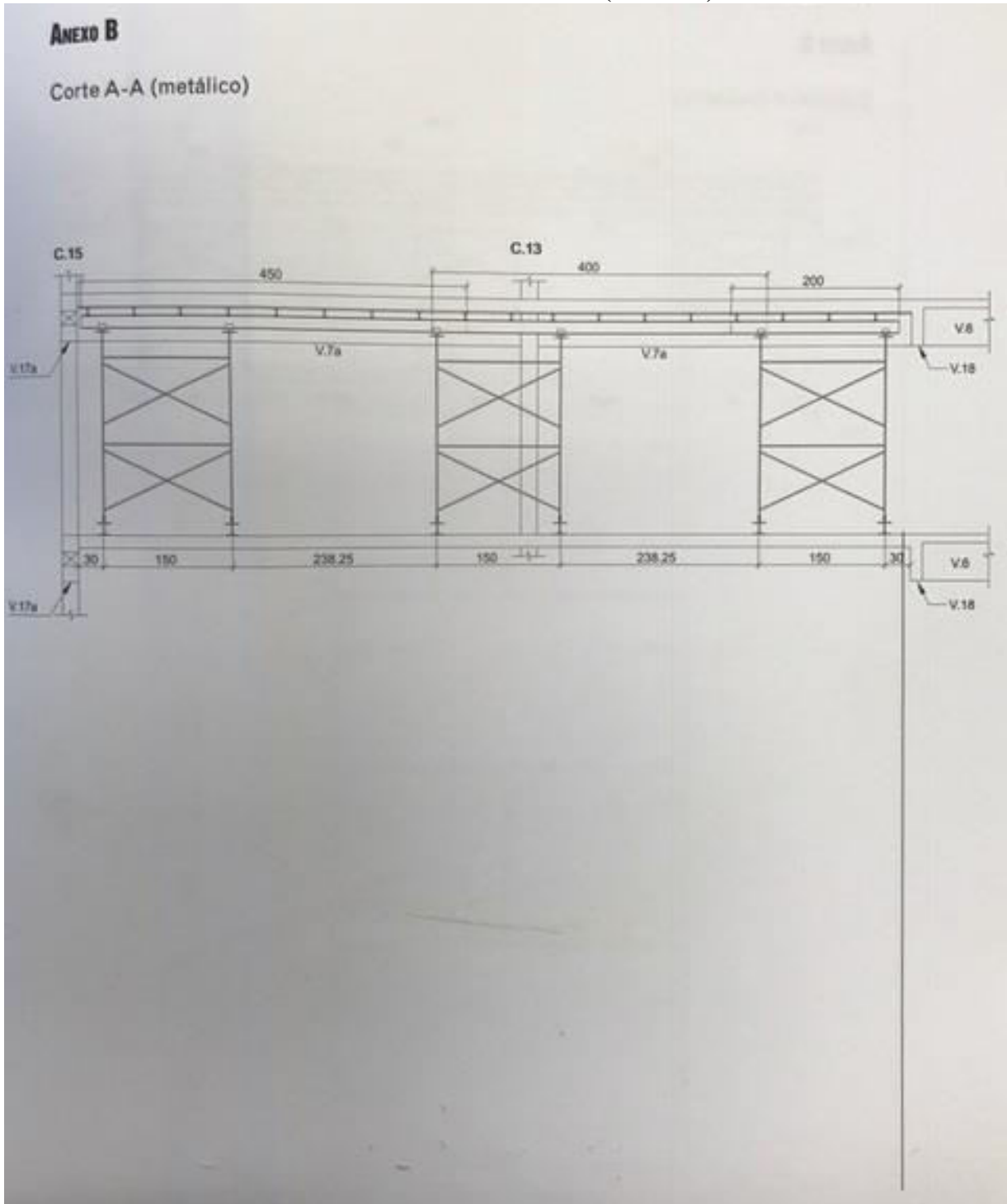
ANEXOS

ANEXO A- Cibramento das lajes



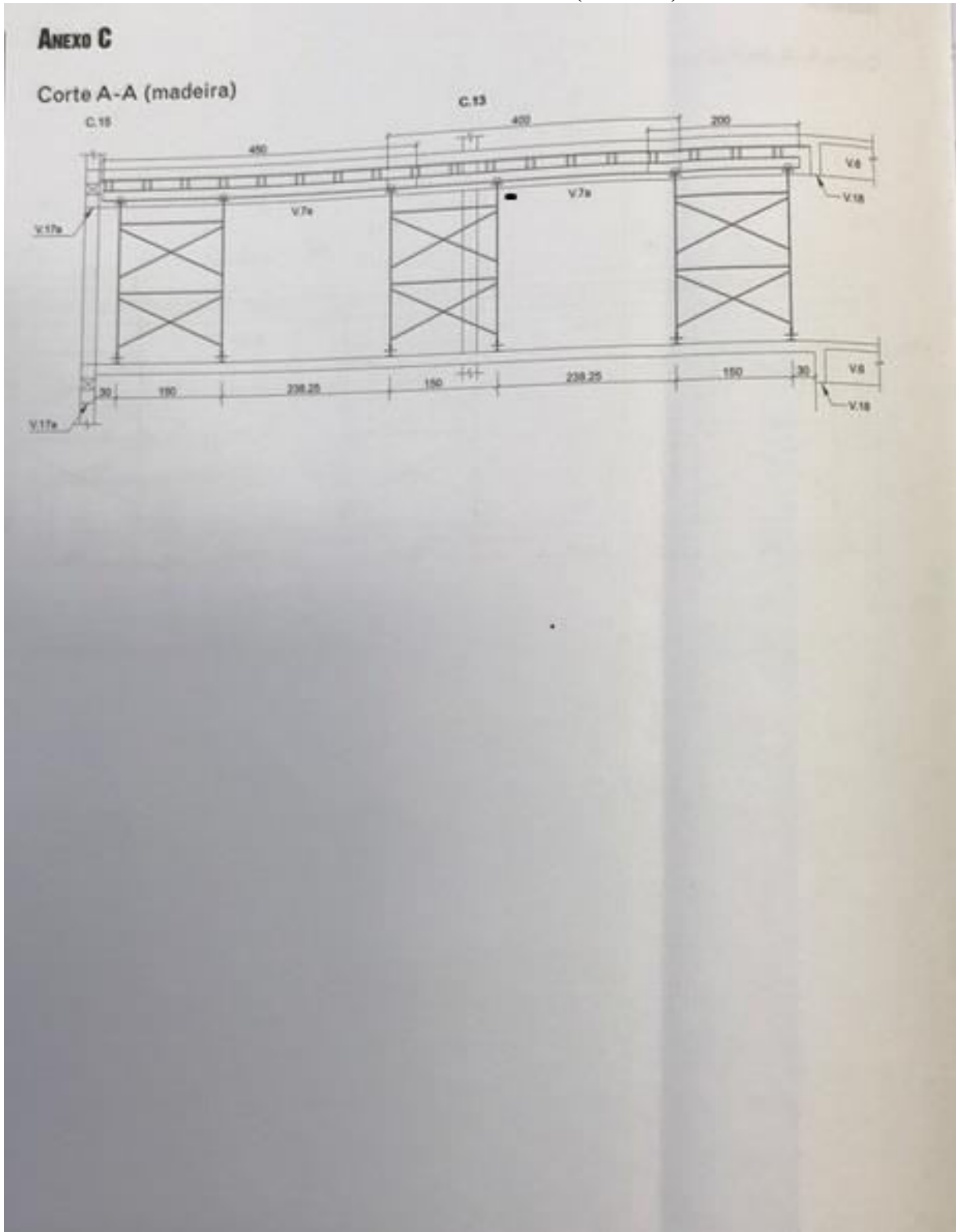
Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

ANEXO B – Corte A-A (metálico)



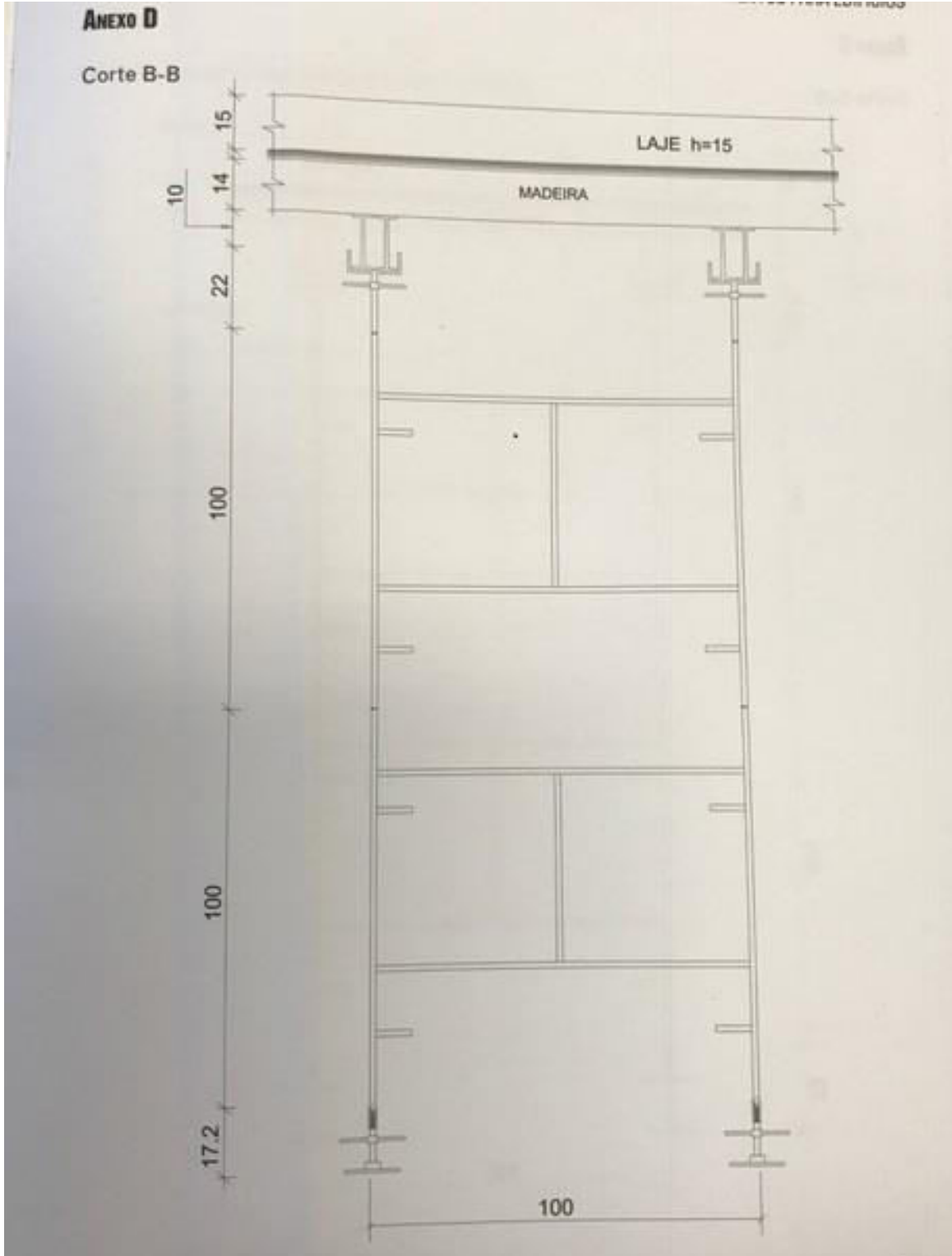
Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

ANEXO C – Corte A-A (madeira)



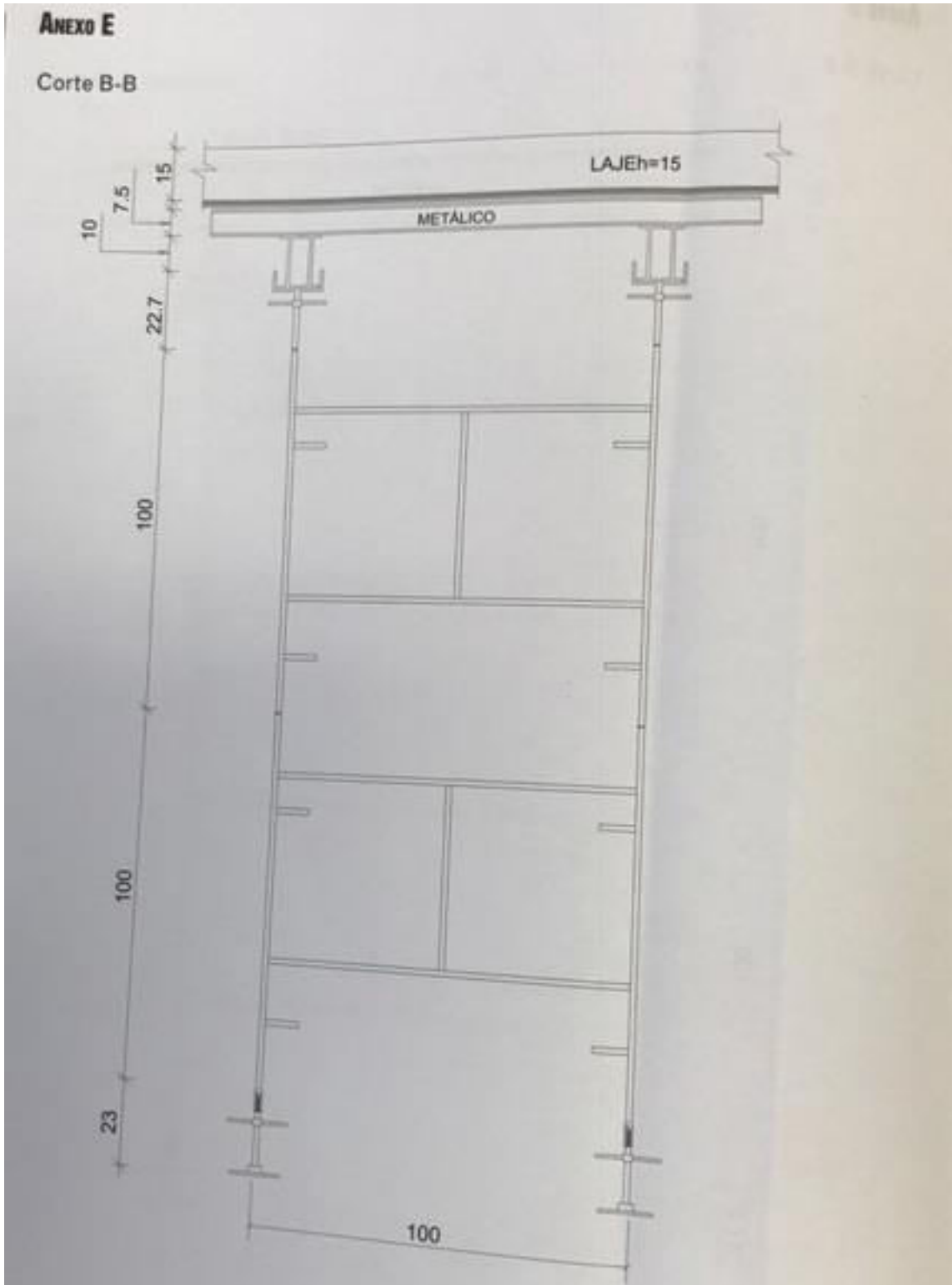
Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

ANEXO D – Corte B-B



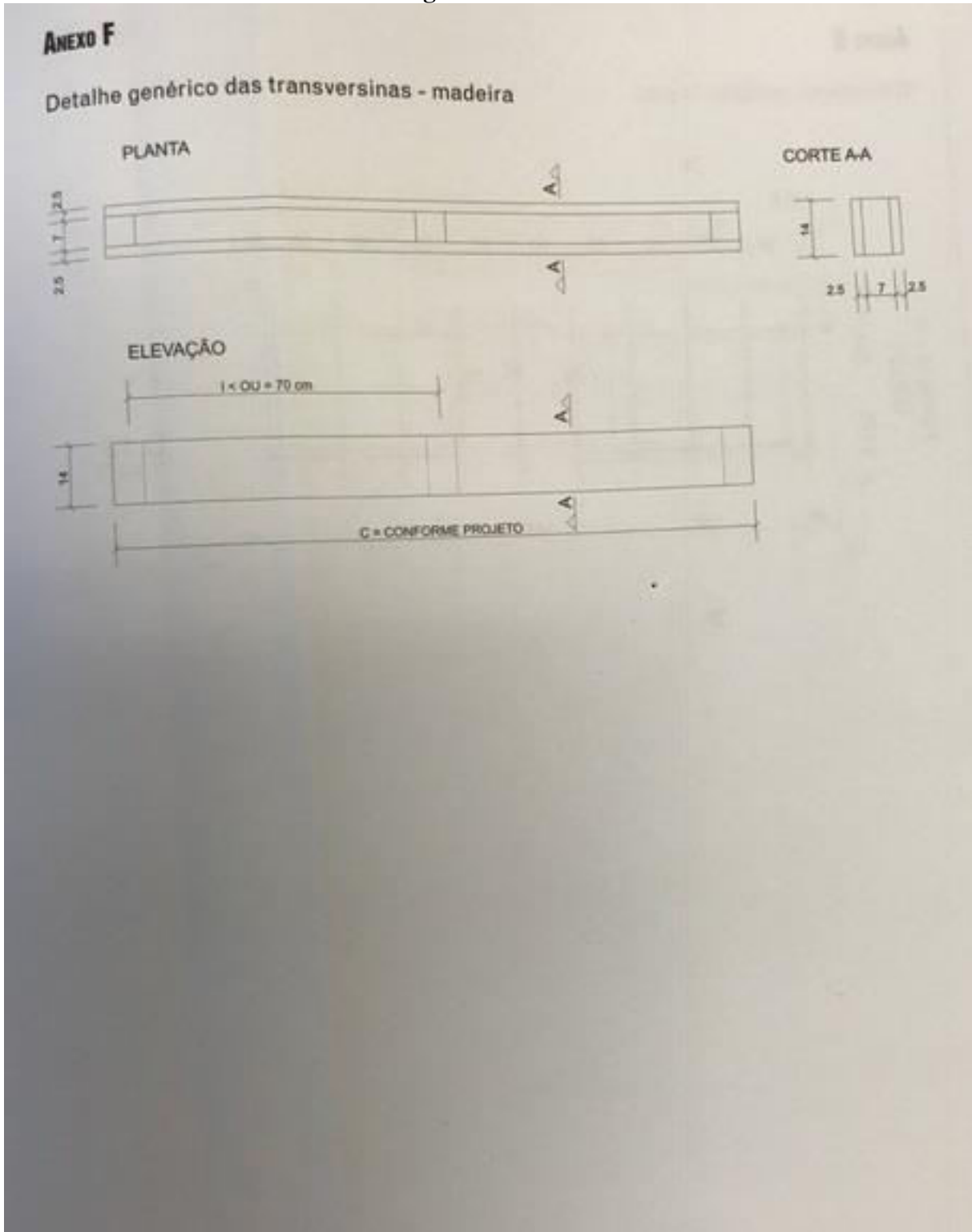
Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

ANEXO E – Corte B-B



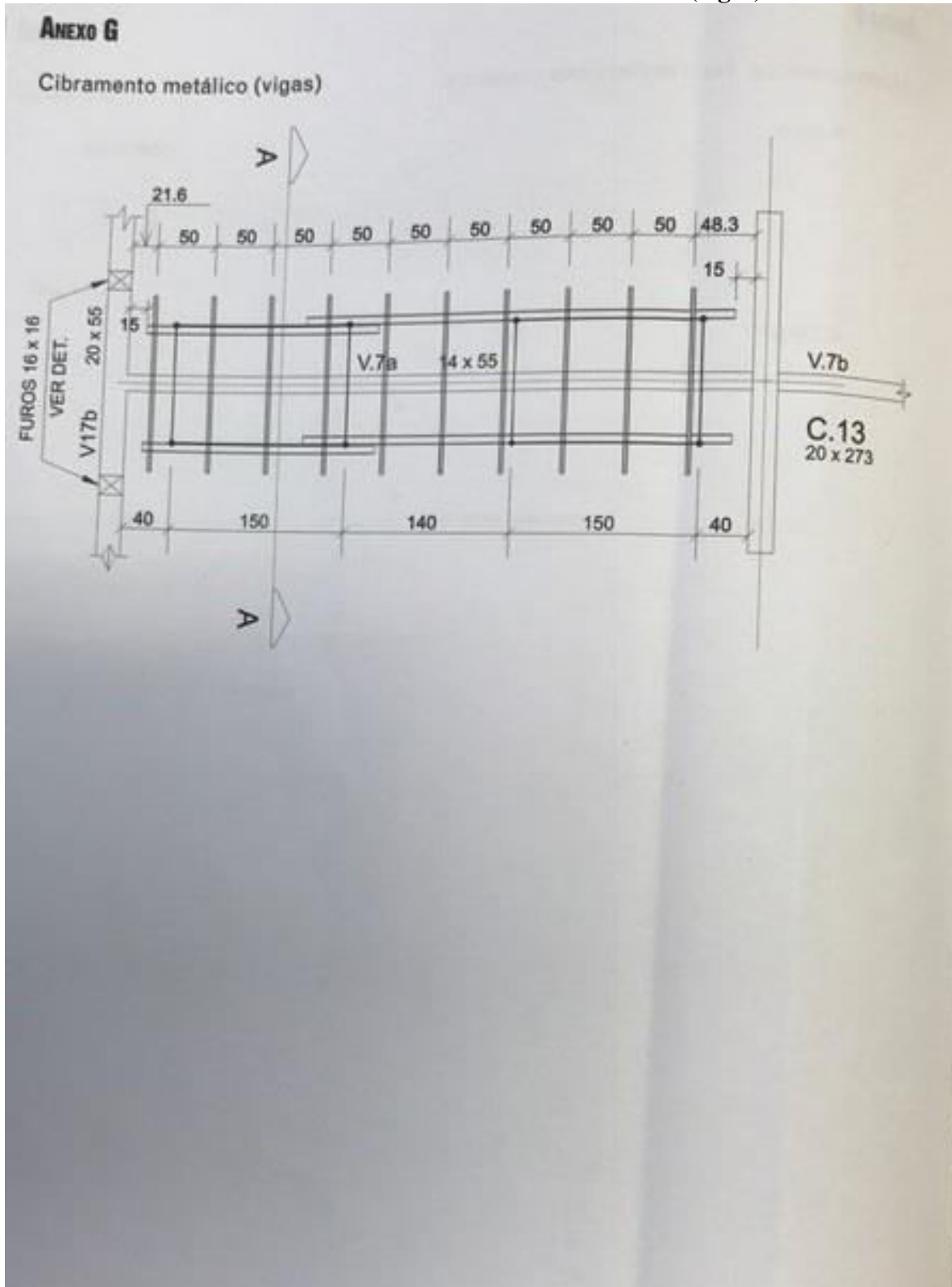
Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

ANEXO F – Detalhe genérico das transversinas - madeira



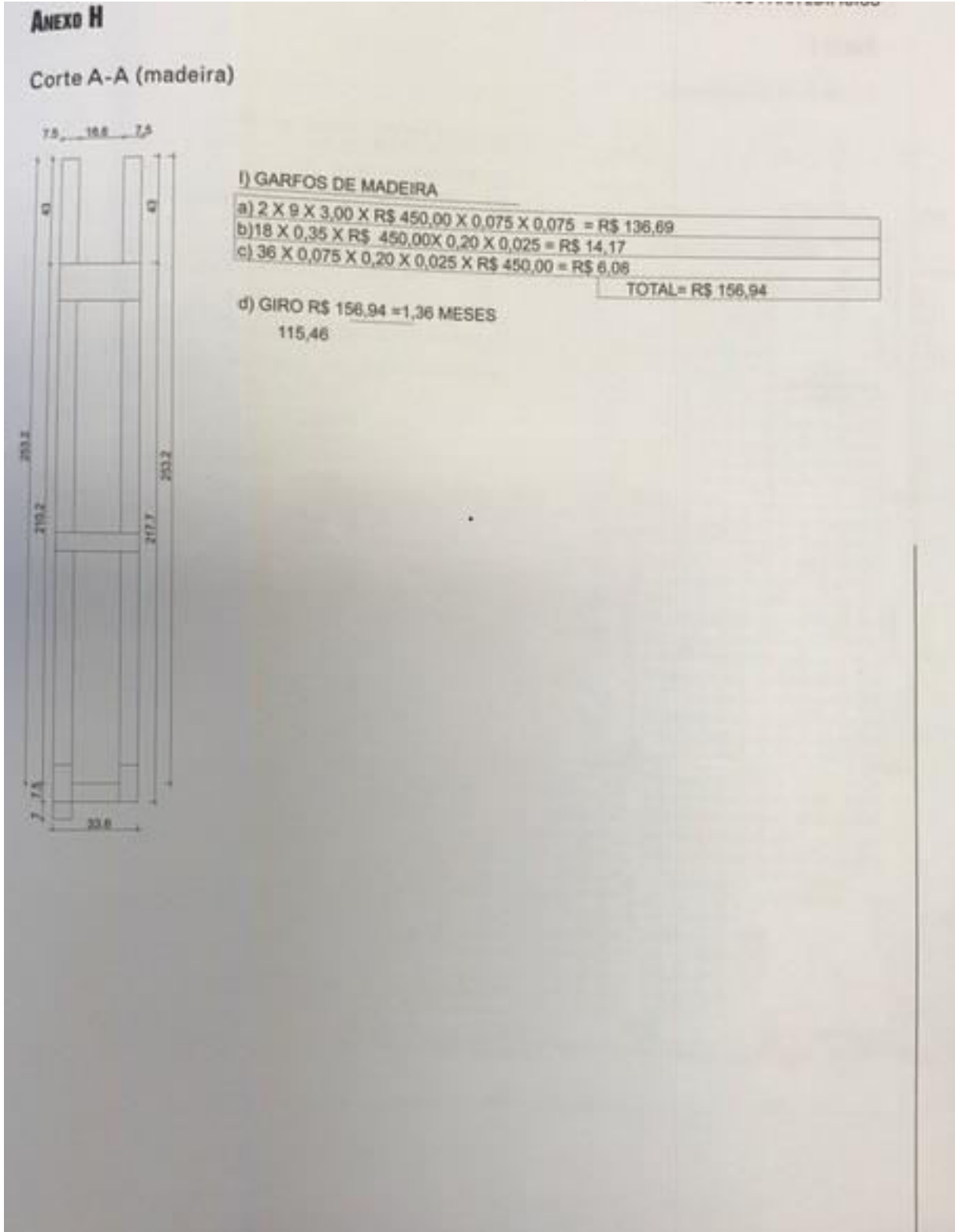
Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

ANEXO G – Cimbramento metálico (vigas)



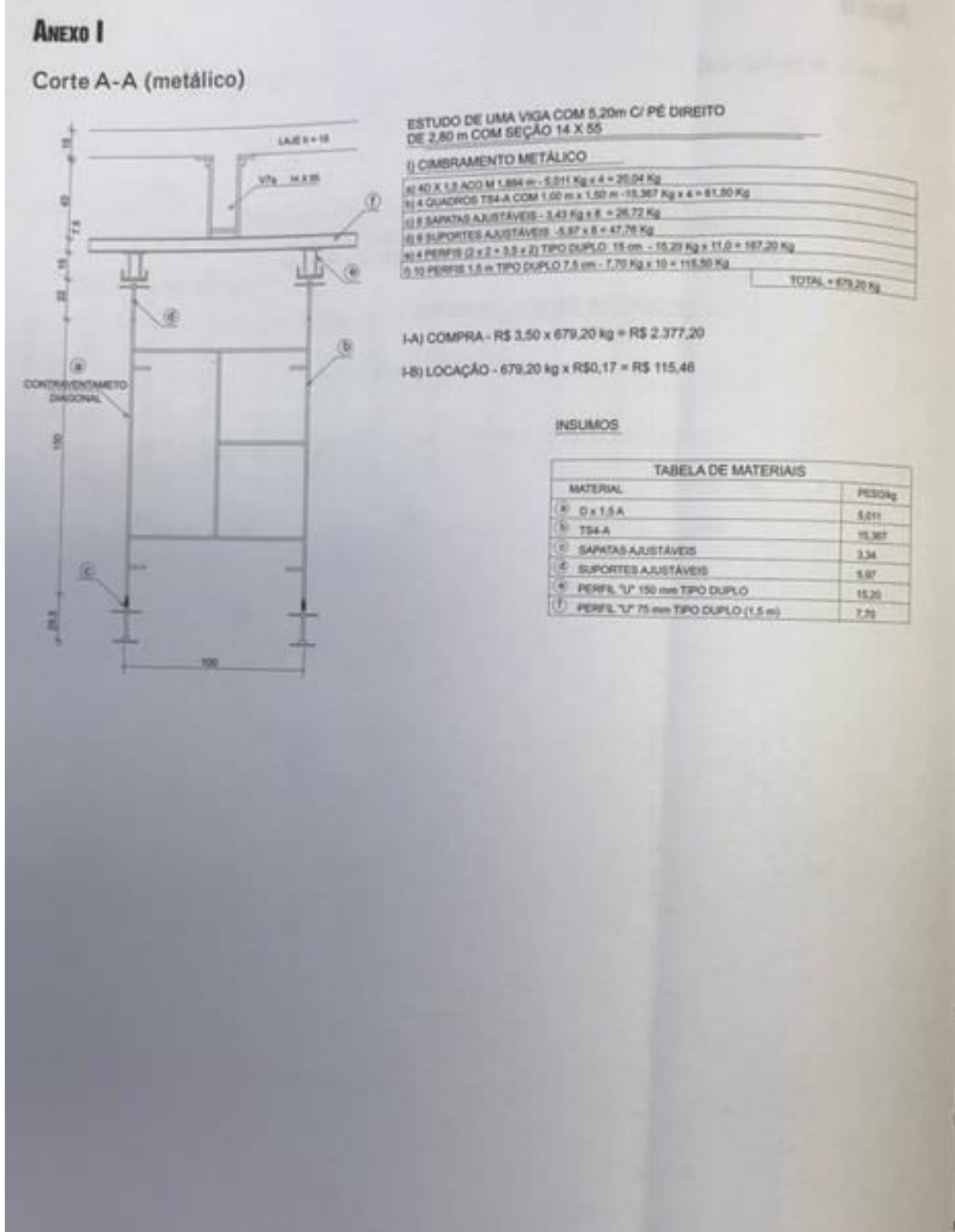
Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

ANEXO H – Corte A-A (madeira)



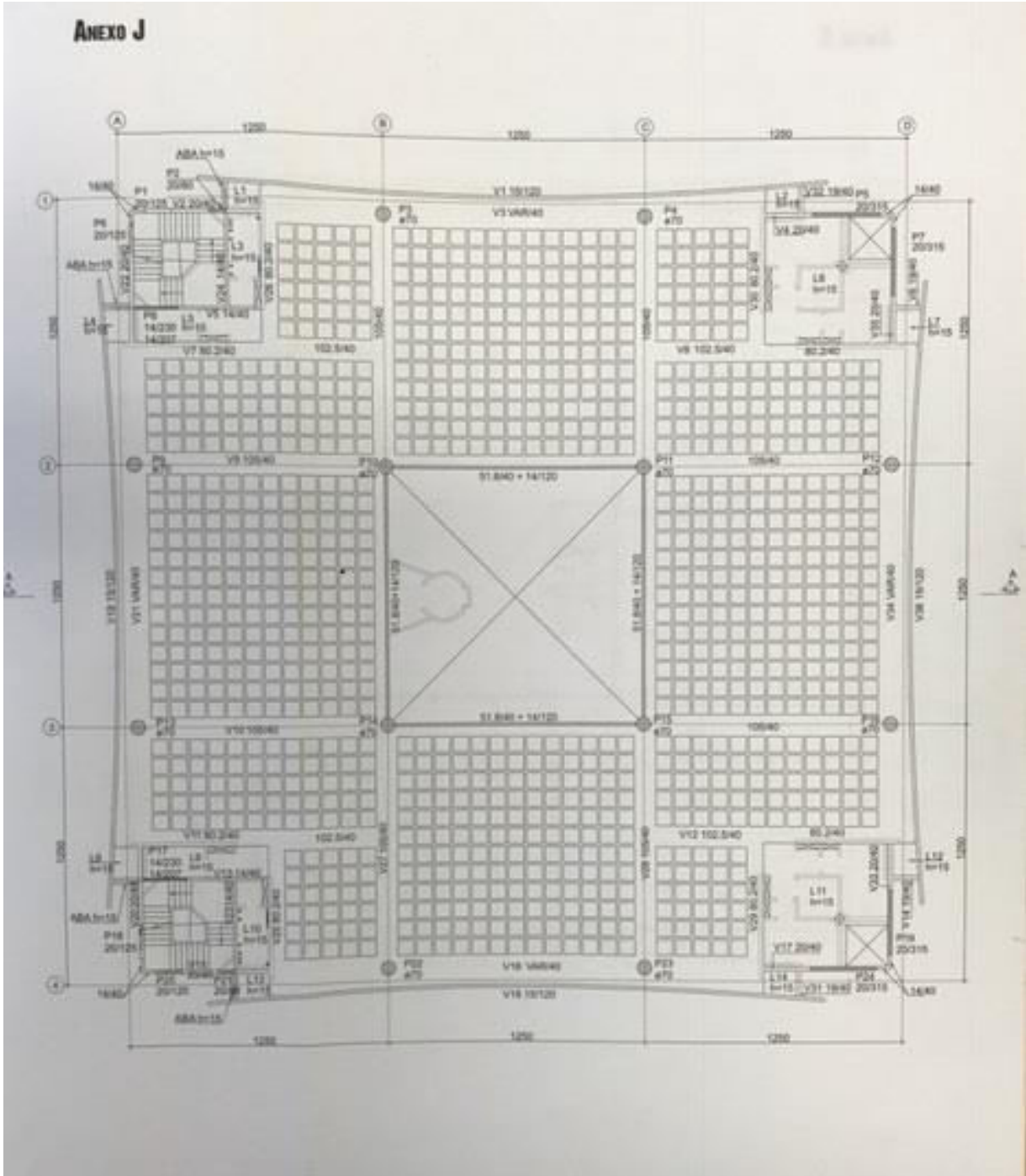
Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

ANEXO I – Corte A-A (metálico)



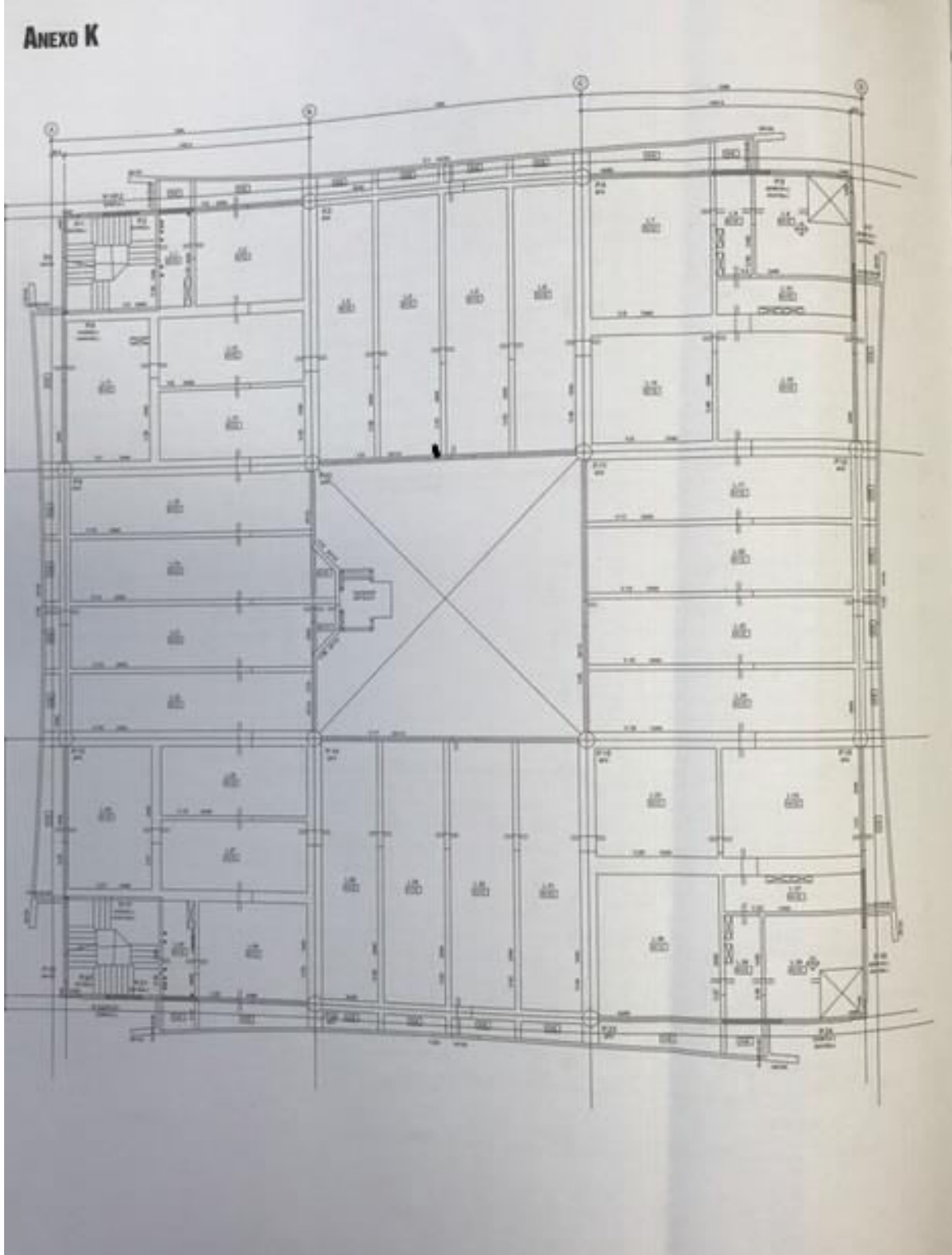
Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

ANEXO J



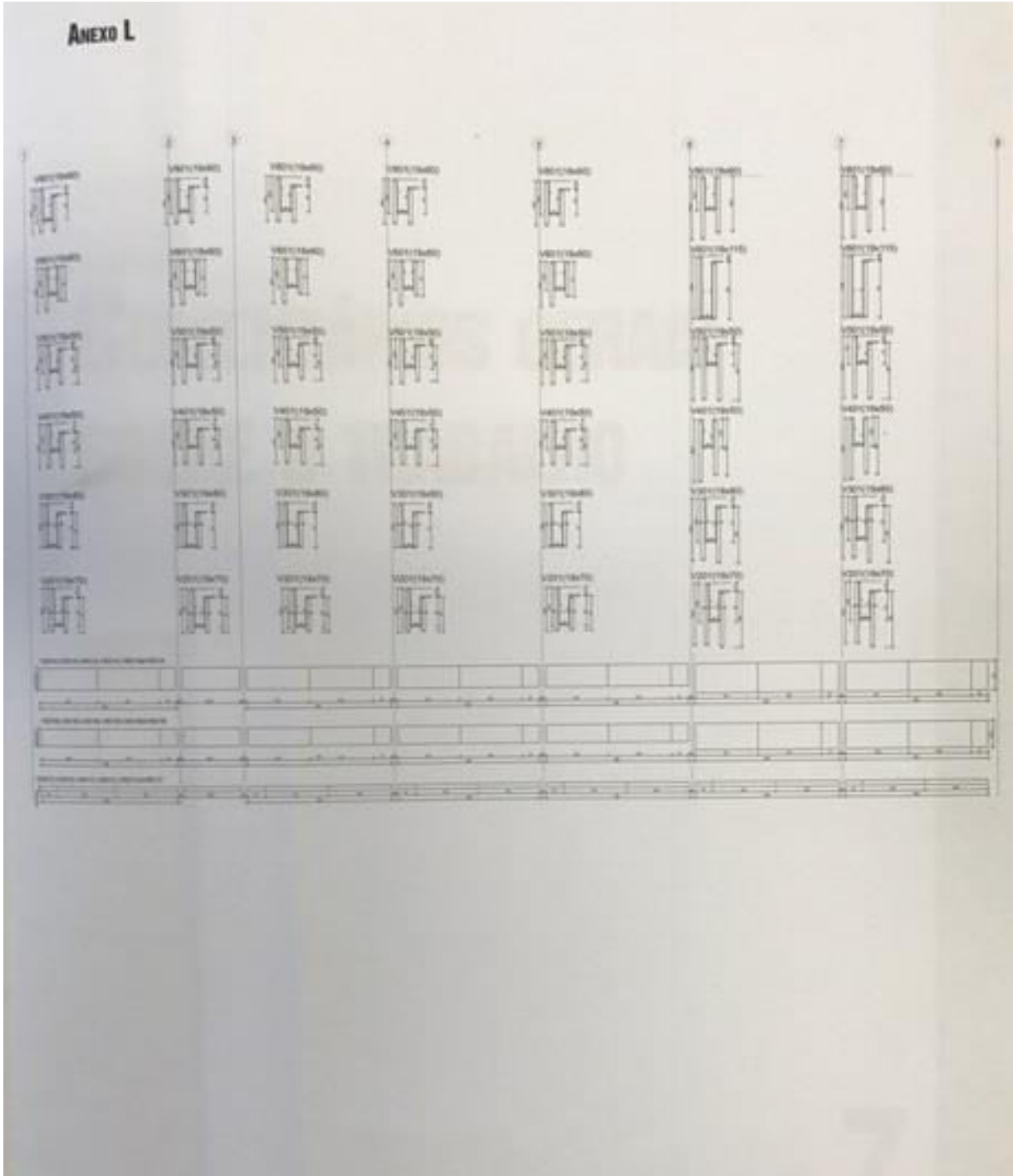
Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

ANEXO K



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)

ANEXO L



Fonte: NAZAR, NILTON (2007)