



**Universidade Eduardo Mondlane  
Faculdade De Engenharia  
Departamento De Engenharia Civil**



**Curso De Licenciatura Em Engenharia Civil  
Estágio Profissional**

## **DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE ESCORAMENTOS E COFRAGENS EM EDIFÍCIOS.**

**Estudo de Caso: Construção da Portagem de Zintava na  
província de Maputo**

**Discente:**

**Jonasse Júnior, Benigno Tique**

**Supervisor:**

**Eng<sup>o</sup> Salomão Nguenha**

**Maputo, Julho de 2023**



**Universidade Eduardo Mondlane**  
**Faculdade De Engenharia**  
**Departamento De Engenharia Civil**



**Curso De Licenciatura Em Engenharia Civil**  
**Estágio Profissional**

## **DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE ESCORAMENTOS E COFRAGENS**

**Estudo de Caso: Construção da Portagem de Zintava na  
província de Maputo**

Relatório de Estágio Profissional, apresentado Ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Civil

Autor:

---

(Benigno Tique Jonasse Júnior.)

Supervisor:

---

(Engº. Salomão Nguenha)



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante **Benigno Tique Jonasse Júnior** entregou no dia \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ as 02 cópias do relatório do seu Estágio Profissional Intitulado: **Dimensionamento de sistemas de escoramentos e cofragens em edifícios na construção da Portagem de Zintava na província de Maputo.**

Maputo, \_\_\_ de \_\_\_\_\_ 20\_\_

A Chefe da Secretaria

---

## **Dedicatória**

Aos meus pais, Benigno Tique Jonasse e Marta da Conceição Vasco, memória inescurecível da minha querida mãe Marta, quis o destino colocar-te distante de nós tão cedo, paz a sua alma, até um dia.

## **Agradecimentos**

Um especial e incondicional agradecimento mim pelas infinitas graças e bênçãos proporcionadas a mim, pela enorme força de vontade e por nunca ter desistido de concretizar esse grande sonho.

Esse sonho seria impossível sem a ajuda dos meus pais, portanto, agradeço aos meus pais Benigno Tique Jonasse e Marta Da Conceição Vasco, irmãos, amigos, colegas e familiares em geral durante esses anos todos e moldar a pessoa quem sou hoje, com grande destaque aos meus pais, irmãos e minha namorada que estiveram presentes dando-me forças e apoio em todos os momentos da minha vida e ao longo desta árdua jornada.

Agradecer também a todos colegas e amigos, com especial atenção aos que fizeram parte do meu grupo de estudos nomeadamente Edmirson Tomás, Samuel Chagaca, Kelvin Traquinho.

Não poderia deixar de lado a minha companheira de longa estrada a Denisse Manuel que sempre esteve ao meu lado a ultrapassar todas dificuldades e desafios durante o curso.

A toda equipe técnica da empresa CRBC por terem-me recebido e ajudado sempre que precisei.

Ao todo o corpo de docente da faculdade de engenharia, que durante o curso se dispuseram a leccionar as matérias com zelo e dedicação. Infinitamente agradeço ao Eng<sup>o</sup> Salomão Nguenha, pela supervisão, que mais do que ter sido apenas críticas severas aos erros de procedimento, significou companheirismo e transmissão de conhecimento e também ao por ter me dado à oportunidade de realizar este estágio e dedicado um pouco do seu tempo e atenção na orientação deste trabalho.

## **Resumo**

O presente trabalho consiste na optimização do dimensionamento dos cimbres e cofragens implementados na construção de um edifício de pequeno porte a construído pela empresa CRBC. E a análise da sua viabilidade técnica e económica das soluções Implementadas durante a construção do edifício serão compreendidas em dois grupos que é são as actividades desenvolvidas e o dimensionamento das cofragens e cimbres. Esta experiência possibilitou a percepção mais profunda do comportamento desses elementos que com auxílio do software Ftool 2017 para o cálculo das cofragens das lajes, vigas, e pilares. para o cálculo estrutural dos cimbres recorreu-se ao uso do software Robot Structural Analysis 2023 tendo em conta os Estados Limites Últimos para as ações permanentes, variáveis (sobrecarga e ação do vento). É neste âmbito que se realizou o estágio profissional, e tendo sido enquadrado na obra de construção da portagem de Zintava na área de estruturas.

**Palavras-chaves:** escoramento, escoramentos, cimbramento, edifícios, cofragem, deformação

## Índice de texto

<b>1. Capítulo I: Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1 Introdução .....	1
1.2 Objetivos .....	1
1.2.1 Objectivos gerais.....	1
1.2.2 Objectivos específicos.....	1
1.3 Metodologia .....	2
1.4 Estrutura do trabalho.....	2
<b>2. Capítulo II: Revisão da literatura .....</b>	<b>4</b>
2.1 Sistemas de escoramentos .....	4
2.1.1 Importância do escoramento .....	4
2.1.2 Funções dos escoramentos .....	4
2.1.3 Instalação das escoras.....	5
2.1.4 Tipologias de escoramentos.....	6
2.1.5 Factores de decisão na escolha do escoramento:.....	6
2.1.6 Tipos de escoramentos .....	7
2.1.7 Cuidados a ter com o escoramento.....	8
2.1.8 Reescoramento.....	9
2.1.9 Análise dos colapsos de escoramentos .....	9
2.1.10 Exemplo de queda de escoramentos em edifício na cidade de Maputo .....	10
2.2 cofragens em edifícios.....	11
2.2.1 Vantagens do uso de cofragens.....	11
2.2.2 Classificação das cofragens.....	12
2.2.3 Principais materiais dos elementos de cofragem.....	12
2.2.4 Requisitos necessários nas cofragens .....	13
2.2.5 Dimensionamento das cofragens .....	14
2.2.6 Factores que afetam o valor da pressão exercida pelo betão na cofragem.....	14
2.3 Remoção das cofragens .....	19
<b>3. Capítulo III: Montagem dos sistemas de escoramentos e cofragens da portagem de Zintava em Maputo.....</b>	<b>20</b>
3.1 Atividades desenvolvidas .....	20
3.1.1 Descrição geral da obra .....	21
3.1.2 Descrição Arquitectónica do edifício.....	22
3.1.3 Descrição estrutural do edifício .....	23
3.1.4 Atividades desenvolvidas .....	24



3.2	Dimensionamento dos sistemas de escoramentos e das cofragens do edifício principal.	37
3.2.1	Dimensionamento de cofragem para pilares .....	37
3.3	Dimensionamento de cofragem para A laje.....	39
3.4	Dimensionamento de cofragem para as vigas.....	46
3.5	Dimensionamento dos escoramentos .....	51
3.5.1	Propriedades técnicas do tubo roll .....	51
3.5.2	Modelação estrutural dos cimbres.....	52
3.5.3	Comentário acerca do dimensionamento teórico x escoramento usado na prática ..	53
<b>4.</b>	<b>Capítulo IV: Conclusões e recomendações .....</b>	<b>54</b>
4.1	Conclusões .....	54
4.2	Recomendações .....	55
<b>5.</b>	<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>56</b>

## Índice de figuras

Figura 1. Escoramento vertical metálico normalizado apoiado no solo (Fonte: Autor) .....	5
Figura 2. Aplicação de escoras pontuais (fonte: Freitas 2004) .....	5
Figura 3. Posição inadequada da ré escoramento (fonte: ACI Committee 347) [1].....	8
Figura 4. Etapas construtivas e respectivas percentagens para colapsos de cimbramentos (fonte: Hadipriono e Wang (1986) [10]) .....	10
Figura 5. Queda de escoras em edifício na cidade de Maputo por conta de montagem inadequada (fonte: Cartamz.com) [8].....	11
Figura 6. Classificação geral das cofragens. (fonte: Daniel Baloi [13]) .....	12
Figura 7. Diferença entre pressões na cofragem de paredes de na cofragem de pilares (fonte: ACI 2001) [1].....	15
Figura 8. Exemplo da pressão que atua na cofragem de um pilar. (Fonte: Sá correia (2008)).....	16
Figura 9. Localização da obra. (fonte: Google Earth) .....	21
Figura 10. vista em planta dos três edifícios (fonte: projecto estrutural da portagem de Zintava da CRBC).....	21
Figura 11. Planta de piso das portagens (fonte: projecto estrutural da portagem de Zintava da CRBC).....	22
Figura 12. Alçado frontal do edifício. (fonte: projecto estrutural da portagem de Zintava da CRBC) .....	22
Figura 13. planta da laje de cobertura (fonte: projeto estrutural da portagem de Zintava da CRBC) .....	23
Figura 14. Pormenor em planta e alçado das escadas das cabines (fonte: projeto estrutural da portagem de Zintava da CRBC) .....	24
Figura 15. Transporte e colocação do betão nas sapatas .....	25
Figura 16. Nivelamento das superfícies das sapatas.....	25
Figura 17. Pavimento provisório servindo de base de apoio do sistema de escoramentos do edifício principal.....	26
Figura 18. Preparação da montagem das cofragens. ....	28
Figura 19. colocação dos espaçadores .....	28
Figura 20. Estado final do escoramento e cofragens. ....	29
Figura 21. Disposição geral das escoramentos e cofragens.....	29
Figura 22. Verificação da verticalidade do pilar .....	30
Figura 23. Medições para verificação do alinhamento do pilar .....	30
Figura 24. Betonagem dos pilares.....	31
Figura 25. Marcação e colocação das bases para as escoras.....	32
Figura 26. Alinhamento das cotas das bases das vigas .....	33
Figura 27. Montagem das cofragens para vigas e lajes.....	33
Figura 28. Disposição da cofragem da viga.....	34
Figura 29. Betonagem da laje de cobertura e das vigas. ....	35
Figura 30. resultado final após a betonagem e cura da laje e vigas .....	35
Figura 31. Aplicação da manta asfáltica .....	36
Figura 32. Aplicação de betonilha na laje .....	36
Figura 33. disposição das cofragens nos pilares (fonte: Autor).....	37
Figura 34. Exemplo de composição de cofragens e escoramento de uma laje.....	40
Figura 35. Planta de piso do painel da laje em análise (Fonte: projecto estrutural da portagem de Zintava da CRBC) .....	40

Figura 36. Dimensões da viga de madeira H20 .....	42
Figura 37. Diagrama de cargas (Fonte: Autor) .....	42
Figura 38. Diagrama de momento fletor (kNm) (Fonte: Autor) .....	43
Figura 39. Diagrama de esforço transversal (kN) (Fonte: Autor) .....	43
Figura 40. Diagrama de cargas para estado limite de utilização (Fonte: Autor) .....	43
Figura 41. Diagrama de cargas para estado limite de utilização (Fonte: Autor) .....	44
Figura 42. Diagrama de cargas (Fonte: Autor) .....	44
Figura 43. Diagrama de momentos (Fonte: Autor).....	44
Figura 44. Diagrama de cargas para estado limite de utilização.....	45
Figura 45. Diagrama de momentos fletores (kNm) .....	45
Figura 46. Diagrama de cargas .....	45
Figura 47. Representação das flechas (mm) .....	46
Figura 48. Secção transversal das vigas do pórtico em análise (fonte: projecto estrutural da portagem de Zintava da CRBC) .....	46
Figura 49. Propriedades mecânicas do tubo roll.....	51
Figura 50. Modelação estrutural dos escoramentos (Fonte: Autor) .....	52
Figura 51. Resultados obtidos do esforço axial, flexão, tensão máxima pelo cálculo da estrutura (Fonte: Autor) .....	53
Figura 52. Deformações das barras (cm) (Fonte: Autor).....	53

## Índice de tabelas

Tabela 1. Tempo necessário para remoção de escoras para cada elemento estrutural (fonte: Daniel Baloi) .....	9
Tabela 2. Coeficiente que relacionado com o peso do betão, $C_w$ . Fonte: Sá correia (2008) .....	17
Tabela 3. Coeficiente químico, $C_c$ . Fonte: Sá correia (2008).....	17
Tabela 4. Graus de consistência. (Fonte: DIN 18218) .....	18
Tabela 5. Tempo mínimo necessário de descofragem dos elementos estruturais (fonte: Daniel Baloi) [13].....	19
Tabela 6. Resultados teóricos x usados na prática.....	50
Tabela 7. comparação dos resultados teóricos e aplicados na obra.....	54

## Lista de abreviaturas e siglas

ACI – America concrete institute

CRBC – China Road and Bridge China

REVIMO – Rede Viária de Moçambique

RSA – Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes

UEM – Universidade Eduardo Mondlane

## Lista de símbolos

$\emptyset$  – Diâmetro

$\emptyset'$  – Ângulo de atrito interno

$m^2$  – Metro quadrado (s);

Cm – Centímetro

m – Metro

kN – kiloNewton

$\delta_{rd}$  – Flecha resistente

$\delta_{sd}$  – Flecha instalada

$\sigma_{adm}$  – Tensão admissível

$\sigma_{sd}$  – Tensão instalada de cálculo

$E$  – Módulo de elasticidade

$ph$  – Carga distribuída na horizontal

$Psd$  – Carga de cálculo

$pv$  – Carga distribuída na vertical

$k$  – Coeficiente de empuxo lateral de solos de Rankine

$q$  – Pressão na vertical

$qsd$  – Pressão na vertical de cálculo

$q_{betão}$  – Pressão vertical exercida pelo betão

$q_{vibração}$  – Pressão vertical devido a vibração

$q_{contraplacado}$  – Pressão exercida pelo peso do contraplacado

$q_{sobrecarga}$  – Pressão devido sobrecarga de trabalho

$M$  – Momento fletor

G – Carga permanente

Q – Carga variável

L – Espaçamento

$L_{Teórico}$  – Espaçamento teórico

$L_{prática}$  – Espaçamento prático

$I$  – Momento de inércia em relação ao eixo x.

$\gamma$  – Peso específico

$\bar{Y}$  – Centro de gravidade em relação ao eixo y.

W – Módulo de flexão

$\gamma_q$  – Coeficiente de segurança relativo acções variáveis

$\gamma_{gi}$  – Coeficiente de segurança relativo acções permanentes

$S_{Gik}$  – Esforço resultante de uma acção permanente, tomada com o seu valor acções características

$S_{Qjk}$  – Esforço resultante de uma acção variável considerada como acção de base, tomada com o seu valor característico de ordem j

$S_{Qik}$  – Esforço resultante de uma acção variável considerada como acção de base, tomada com o seu valor característico de ordem i

$\psi_{oj}$  - Coeficientes  $\psi$  correspondentes à acção variável de ordem j

$v$  – Velocidade do vento

$W_k$  – Pressão característica exercida pelo vento

W - Pressão de cálculo exercida pelo vento

R – Ritmo de betonagem

$P_{max}$  – Pressão lateral máxima

$\gamma_{betão}$  – Peso específico do betão

$H_{pilar}$  – Altura do pilar

# **1. CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO**

## **1.1 INTRODUÇÃO**

Este trabalho foi feito no âmbito de apresentar uma abordagem dos sistemas de escoramentos e de cofragens em edifícios, da sua importância, do seu correto dimensionamento, suas variedades, os critérios de selecção de material, tipologias, as suas funções, métodos de dimensionamentos. Durante o processo de empreitada influem em cerca de 30-40% dos custos total de uma obra e é de extrema importância fazer o seu correto dimensionamento de modo a evitar acidentes graves.

Embora nas obras correntes seja negligenciada o seu dimensionamento e têm-se usado apenas o empirismo (o que não é muito recomendável) na sua aplicação, nesse trabalho far-se-á uma análise comparativa entre o cimbramento e cofragem aplicada na obra em estudo e os elementos dimensionados.

## **1.2 OBJETIVOS**

O estágio profissional realizado teve como objectivo analisar a viabilidade técnica implantada no caso em estudo.

### **1.2.1 Objectivos gerais**

O presente documento científico tem como objeto geral o estudo e acompanhamento das tecnologias da construção com ênfase nos sistemas de escoramentos e de cofragens em edifícios.

Elementos esses usados na execução dos elementos estruturais para a execução da obra, descrevendo os processos construtivos, processo de montagem, cuidados a ter, critérios para sua escolha e sua importância no controle de qualidade e a sua economia.

### **1.2.2 Objectivos específicos**

O trabalho aqui apresentado tem como objectivos:

- Dimensionar sistema de escoramentos e de cofragens;
- Analisar a viabilidade técnica do Estudo de Caso;

### 1.3 METODOLOGIA

Para alcançar os objectivos do trabalho descrevem-se abaixo de forma resumida as metodologias adoptadas, cujos conteúdos serão desenvolvidos nos capítulos seguintes:

- Estudo de bibliografia sobre a sistemas de escoramentos e cofragens em edifícios;
- Pesquisa de campo para a coleta de dados e informações de fontes directas durante as atividades executadas em obra, tais como os fiscais, encarregados de obra, e técnicos presentes na obra;
- Uso de softwares (Google Earth, Ftool 2017 e Robot Structural Analysis 2023) para modelagem, cálculo de esforços internos, dimensionamento dos elementos estruturais;
- Revisão de projeto executivos (arquitetónicos e estruturais), houve a necessidade de analisar os projetos, identificar erros ou melhorias possíveis, e elaborar relatórios com suas recomendações;
- Estimativa de custos das soluções adotadas no terreno e comparativamente a solução alternativa;
- Análise crítica das soluções adotadas sob o ponto de vista técnica, desempenho e custos de execução;

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho apresenta-se subdividido em 6 capítulos, com a seguinte estrutura:

- **Capítulo I** – introdução, onde se descreve a temática do estágio e os objectivos gerais e específicos que estiveram na base do estágio profissional;
- **Capítulo II** - revisão da literatura, onde faz-se uma breve recapitulação do tema referente aos sistemas de escoramentos e de cofragens em edifícios;
- **Capítulo III** – Descrição das actividades desenvolvidas no estágio e dimensionamento de um sistema de escoramento e das cofragens, nesta secção far-se-á o seu dimensionamento para o mesmo edifício em estudo e far-se-á uma análise comparativa dos valores obtidos no cálculo e os valores implementados, de modo a verificar se o edifício em questão obedece as normas de segurança estrutural e também verificar a economia da solução adoptada;

- **Capítulo V** – conclusões e recomendações, onde se retiraram as principais observações e considerações finais;
- **Capítulo VI** – referências bibliográficas – onde faz-se a referência dos trabalhos lidos que serviram de base para criação desta obra;



## **2. CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA**

O presente trabalho que tem foco abordar a viabilidade técnica dos sistemas de escoramentos e cofragens em edifícios, portanto a revisão bibliográfica será dividida nesses dois grandes temas.

### **2.1 SISTEMAS DE ESCORAMENTOS**

De acordo Daniel Baloi[13], As escoras são elementos de suporte provisórios cujo propósito é absorver e transferir as cargas provenientes doutros elementos integrantes das cofragens como as chapas ou mesas e vigas para o solo ou base firme. Essas estruturas provisórias apresentam-se geralmente interligados entre si de forma a permitir uma redistribuição adequada das cargas bem como promover o equilíbrio geral do conjunto até que a estrutura se torne autoportante.

#### **2.1.1 Importância do escoramento**

De acordo com Sá Correia (2008) [12], as suas aplicações nas construções desse tipo de estruturas são provisórias, e servem para suportar e transmitir as cargas provenientes da estrutura a construir. Para evitar desastres resultantes do seu mau dimensionamento e as consequências de um sub-dimensionamento tendem a ser catastróficas originando acidentes e progresso da obra, as consequências do seu sob-dimensionamento está directamente ligado aos custos pois é sabido que os sistemas de escoramentos e cofragens numa obra constituem em cerca de 30-40% do custo total da obra então, o seu sob-dimensionamento aumentaria o custo total da obra.

#### **2.1.2 Funções dos escoramentos**

O sistema de escoramentos tem como função principal absorver e transferir as cargas provenientes doutros elementos permanentes ou das cofragens para o solo/base firme. Geralmente apresentam-se interligados entre si de forma a permitir uma distribuição adequada das cargas bem como promover o equilíbrio geral do conjunto servir de apoio provisório para estrutura, até que estas adquiram resistência suficiente e tornarem-se autoportantes.



*Figura 1. Escoramento vertical metálico normalizado apoiado no solo (Fonte: Autor)*

### **2.1.3 Instalação das escoras**

Segundo Freitas (2004) [4], em geral as escoras pontuais são instaladas como uma peça única em cada ponto escorado, mas podem ser instaladas duas ou mais peças juntas em um ou mais pontos de escoramento, fornecendo maior rigidez e capacidade de suporte. Como as escoras são responsáveis por suportarem forças, no mínimo duas precauções devem ser tomadas:

1. Serem instaladas de modo a impedir o deslocamento no topo ou na base (quando em uso);
2. Utilizar travamentos horizontais para aumentar a capacidade de suporte do sistema de ré escoramento.



*Figura 2. Aplicação de escoras pontuais (fonte: Freitas 2004)*

#### **2.1.4 Tipologias de escoramentos**

Segundo Freitas (2004) [4], O critério de escolha do sistema de escoras a implementar depende da complexidade do projecto a implementar, da análise técnica, das preferências de cada construtor, em função das experiências pessoais. Todavia, o factor prazo de execução e número de utilizações, em qualquer opção, tem importância fundamental na tomada de decisão, os factores técnicos que influenciam na escolha são:

- a) Orientação - a orientação do elemento varia em função da disposição do elemento a suportar pode ser: vertical, inclinado, horizontal (entivação).
  
- b) Material – os materiais a empregar depende das envergaduras das cargas a absorver, por isso podem classificar como:
  - Tradicionais – madeira
  - Não tradicionais – metal
  
- c) Normalização – este parâmetro é um dos mais importantes a ter em consideração do processo de dimensionamento pois é ele dita os valores de capacidade resistente, por isso as quanto a normalização podem ser:
  - Não-normalizados;
  - Normalizados;
  
- d) Suporte – dependendo das condições do terreno, as condições de suporte podem ser:
  - Apoiados ao solo;
  - Deslizantes

#### **2.1.5 Factores de decisão na escolha do escoramento:**

Durante o processo da selecção do tipo de escoramento há várias condicionantes para sua selecção, ao ter-se noção desses factores torna-se uma tarefa simples, e os factores que se leva à cabo na sua decisão são:

- A localização da obra;
- Os acessos ao local da obra;

- Custos;
- A extensão e repetibilidade da obra;
- Carga a escorar;
- Altura de escoramento;
- Relevo e características do terreno de assentamento do escoramento;
- Condicionais de apoio ao solo;
- Equipamentos disponíveis;

### **2.1.6 Tipos de escoramentos**

Como se sabe na engenharia possui várias soluções para vários factores decisivos para a sua escolha.

#### **2.1.6.1 Escoramento de madeira**

O escoramento de madeira é um dos mais usados devido a sua abundância e custos deste material no mercado, e possui suas desvantagens tais como:

- Dificuldades de alinhamento;
- Dificuldades de emendas;
- Sofre ataque de insectos xilófagos;
- Características mecânicas variáveis;
- Capacidade de carga desconhecida;
- Maior custo com mão-de-obra;
- Maior gasto de tempo;

#### **2.1.6.2 Escoramento metálico**

São poucos usados em obras de baixo custo devido o seu preço de aquisição ou aluguer, geralmente possui geralmente uma secção tubular assim diminuindo o peso próprio e as principais vantagens são:

- Possui componentes muito leves e de alta resistência;
- Reduzido número de componentes, montagem rápida e simples;
- Elevada segurança e estabilidade;
- Elevada rentabilidade;
- Redução de mão-de-obra e de tempos de montagem;

- Facilmente adaptável a diferentes alturas e larguras;
- Reutilização;
- Modularidade;

### 2.1.7 Cuidados a ter com o escoramento

Segundo Freitas (2004), o escoramento deve ser projectado e construído de modo a ter resistência às acções a que possa ser submetido durante as etapas construtivas e rigidez suficiente para assegurar que a integridade dos elementos estruturais não seja afectada.

O escoramento deve ser projectado de modo a não sofrer sob a acção de seu peso próprio do peso próprio da estrutura e das cargas acidentais de construção, deformações prejudiciais ao formato da estrutura ou que possam causar esforços não previstos na mesma. No projecto de escoramentos devem ser consideradas as deformações e a lambarem dos elementos e as vibrações a que o escoramento estará sujeito. Além disso, devem ser tomadas as precauções para evitar assentamentos prejudiciais do solo ou na parte da estrutura que suporta o escoramento, pelas cargas por este transmitida.

Segundo o ACI Committee 347 (1994) [1], as réscoras apoiadas que são apoiadas directamente nas lajes e instaladas em pavimentos intermediários não podem se localizar fora do mesmo alinhamento das escoras dos pavimentos superiores caso a rigidez da laje não seja suficiente para combater a inversão de esforços e o efeito de punção.

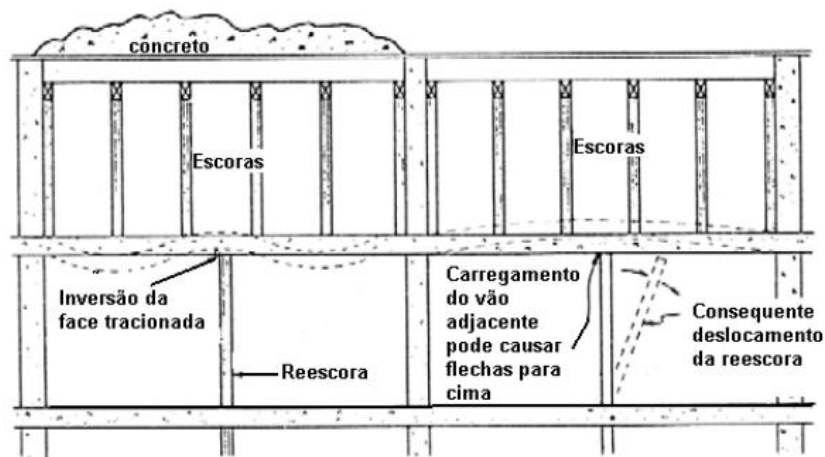


Figura 3. Posição inadequada da ré escoramento (fonte: ACI Committee 347) [1]

### 2.1.8 Reescoramento

Segundo Freitas (2004), o ré escoramento faz-se em pelo menos três casos:

1. Quando a força transmitida à estrutura durante a construção for maior que a sobrecarga de projecto;
2. Quando ainda não foi atingida a resistência total da estrutura, e deseja-se retirar as cofragens para idades do betão menores que 28 dias
3. Quando, antes dos 28 dias, precisa-se deslocar um equipamento sobre a estrutura de acção maior que a sobrecarga de projecto.

Elemento estrutural a remover a escoras	Tempo necessário (dias)
Lajes de vãos inferiores $\leq 6m$	21
Lajes fungiformes de elevado peso	28
Escoramento em vigas	14
Lajes fungiformes de elevado peso	28

*Tabela 1. Tempo necessário para remoção de escoras para cada elemento estrutural (fonte: Daniel Baloi)*

Para caso das lajes e vigas que na ocasião de descimbramento estejam com solicitações muito próximas da sua capacidade resistente recomenda-se que a descofragem se faça após os 28 dias.

### 2.1.9 Análise dos colapsos de escoramentos

Hadipriono e Wang (1986) [10] estudaram os colapsos de 85 cimbramentos utilizados para estruturas de betão. Como resultado, notaram que o sistema de escoramento deficiente foi a principal causa desses colapsos, observados em 48% dos casos com uso de escoras pontuais e 33% para os que usam as escoras tipo torre.

A figura 4 identifica as etapas construtivas em que ocorrem os colapsos de cimbramentos e suas respectivas percentagens, segundo as análises de Hadipriono e Wang (1986). Constata-se que as etapas de lançamento de betão nas cofragens são situações críticas, pois são responsáveis por praticamente metade dos colapsos observados.

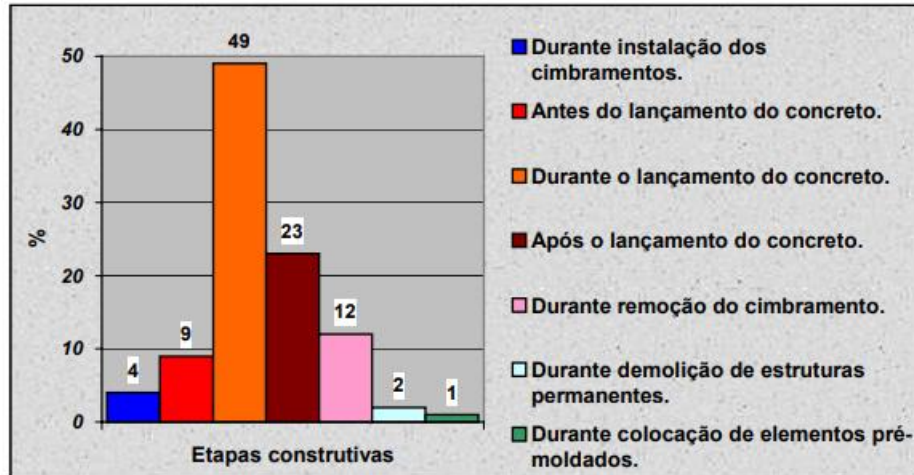


Figura 4. Etapas construtivas e respectivas percentagens para colapsos de cimbramentos (fonte: Hadipriono e Wang (1986) [10])

Os mesmos autores identificam 3 causas principais para o colapso dos cimbramentos:

1. Eventos que contribuem para deficiências de projecto e construção dos cimbramentos, como travamentos horizontais inadequados, componentes com defeitos, conexões impróprias, fundações inadequadas e projectos com falhas.
2. O efeito do lançamento do betão por causa do impacto exercido pelo mesmo, assim como os efeitos produzidos pela remoção impropria ou prematura dos cimbramentos
3. A falta de interação das partes envolvidas na revisão do projecto e na execução dos cimbramentos. Em muitos casos os construtores não seguem o projecto de construção dos cimbramentos e o engenheiro responsável pela execução da obra omite o trabalho de verificação desses cimbramentos.

#### 2.1.10 Exemplo de queda de escoramentos em edifício na cidade de Maputo

Face às várias irregularidades detetadas na obra da construção de um restaurante na avenida marginal na cidade de Maputo. constou-se várias irregularidades desde a falta de fiscalização destaca-se a inadequada montagem do sistema de cofragem.

Só para se ter uma ideia, numa infra-estrutura dessas foram usadas juntas perigosamente improvisadas, escoras em estado avançado de degradação, e bases de apoio quase inexistentes, Segundo artigo do Jornal Cartamo.com [8]



*Figura 5. Queda de escoras em edifício na cidade de Maputo por conta de montagem inadequada (fonte: Cartamz.com) [8]*

## **2.2 COFRAGENS EM EDIFÍCIOS**

A cofragem desempenha um papel importante no processo de construção de estruturas de betão porque ela ajuda a dar inúmeras formas e a suportar as mais diversas peças de betão desde a fase de betonagem até ao ponto de endurecimento e ganho da resistência necessária. Em princípio, é possível conseguir qualquer forma em estruturas de betão, dadas as suas características do betão por ser moldáveis.

elas devem garantir o correto posicionamento das instalações e das armaduras, permitindo a colocação de espaçadores para garantir os cobrimentos e servir de suporte para os serviços armação e betonagem segundo Carlito et al (1998) [2],

### **2.2.1 Vantagens do uso de cofragens**

Na engenharia civil no processo de fabrico e execução de elementos de betão. Todavia, é preciso frisar que as cofragens mais complexas se conseguem, geralmente, há custos significativos. As cofragens devem obedecer a algumas características, designadamente:

- Ser resistentes o suficiente para suportar as pressões ou o peso do betão e das sobrecargas impostas;
- Ser suficientemente rígidas a fim de manter a forma sem sofrer deformações assinaláveis;
- Ser económicas em termos do custo total da cofragem e dos betões;



## 2.2.2 Classificação das cofragens

Segundo Daniel Baloi [13], no que concerne a classificação existem vários tipos, e são distinguidas em dois enormes grupos que podem ser cofragens recuperáveis e as não recuperáveis, e possui as subdivisões nomeadamente:

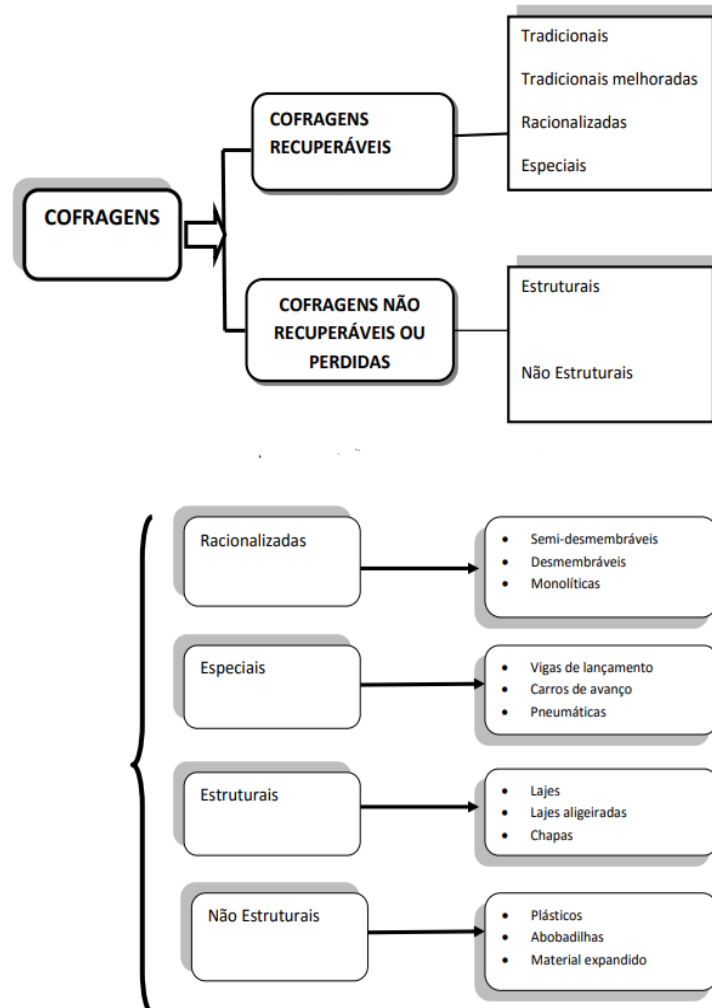


Figura 6. Classificação geral das cofragens. (fonte: Daniel Baloi [13])

## 2.2.3 Principais materiais dos elementos de cofragem

Segundo, Daniel Baloi [13], A seleção dos materiais para a fabricação dos elementos de cofragem é normalmente uma função de economia, necessidade, disponibilidade ou uma combinação de alguns destes factores. Os materiais mais comuns são a madeira, o aço e o alumínio, isoladamente ou em combinação. Quando a intenção é utilizar poucas vezes determinados elementos de cofragem, a madeira é o material ideal. Se, no entanto, se

pretende elementos com chance de elevada utilização como painéis de parede, chapas para lajes, chapas para pilares, então o aço e o alumínio são a alternativa mais económica. Por vezes, a natureza das estruturas requer cofragens de um tipo de material. Tal é o caso de colunas, paredes circulares de depósitos de água, túneis entre outros, onde o aço é o material mais indicado. De um modo geral, as cofragens podem ser feitas dos seguintes materiais:

- Madeira (maciça, contraplacados e aglomerados);
- Aço;
- PVC (policloreto de vinilo);
- Fibra de vidro;

#### **2.2.4 Requisitos necessários nas cofragens**

A NBR 6118: 2007 [5] e a NBR 14931 [6] fixam as condições gerais e os requisitos básicos que devem ser satisfeitos no projecto, na execução e no controle de obras de betão simples, armado e protendido. As principais diretrizes dessas normas estão relacionadas à qualidade das estruturas que são sustentadas basicamente por três factores: capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade. Para que as estruturas atendam a esses condicionantes e conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil, o sistema de cofragem e escoramento deve ser projectado e construído de modo que alguns pré-requisitos sejam atendidos, são eles (9):

- Estanqueidade
- Resistência mecânica à rutura
- Resistência à deformação
- Regularidade geométrica
- Baixa aderência ao betão
- Durabilidade
- Estabilidade dimensional
- Posicionamento da armadura
- Lançamento e adensamento do betão
- Reatividade química
- Dimensionamento

## **2.2.5 Dimensionamento das cofragens**

Segundo (Assahi, 2005)[7], o completo dimensionamento das cofragens carece de dois estudos distintos:

- O primeiro é o da cofragem e escoramento, onde os cálculos são para proporcionar a rigidez e resistência necessária a cada um dos componentes do sistema;
- E o segundo, mais complexo, é a análise das acções construtivas que ocorrem sobre as estruturas moldadas, na maioria delas, ainda na fase prematura de cura do betão;

Para o primeiro estudo, o projetista utiliza os conhecimentos técnicos de engenharia e também, o do comportamento dos materiais a serem utilizados, devem-se levar em consideração os factores físicos botânicos, tais como: idade da madeira, umidade, existência de nós e falhas, etc. A obtenção destas características físicas confiáveis é tarefa para instituições especializadas, impossíveis de realização no estaleiro da obra.

## **2.2.6 Fatores que afetam o valor da pressão exercida pelo betão na cofragem**

Segundo ACI (2001) [1], os fatores que afetam o valor da pressão lateral exercida pelo betão na cofragem são:

- Densidade do betão;
- Velocidade de enchimento do betão;
- Temperatura;
- Dosagem de cimento;
- Trabalhabilidade;
- Sistema de compactação e altura de queda do betão;
- Impacto durante a betonagem;
- Quantia e distribuição das armaduras;
- Forma, dimensões e superfície da cofragem;

### **2.2.6.1 Velocidade de enchimento do betão**

Segundo ACI (2001) [1], Através dos ensaios realizados, constatou-se que, quanto maior é a velocidade de enchimento, maior é a pressão exercida sobre as cofragens. O aumentar a velocidade de enchimento, a pressão devido ao impacto aumentará

proporcionalmente. Portanto, se permitir ao betão fluir a grande velocidade dentro das cofragens, a pressão aumentará sobre elas, com valores significativos.



*Figura 7. Diferença entre pressões na cofragem de paredes e na cofragem de pilares (fonte: ACI 2001) [1]*

### **2.2.6.2 Pressão vertical**

Durante o processo do dimensionamento das cofragens e escoramentos para elementos horizontais o caso das lajes e vigas é inevitável não quantificar e levar em consideração no seu correto dimensionamento, segundo Sá Correia (2008) [12].

### **2.2.6.3 Pressão lateral do betão**

Durante o processo de transição do estado fluido quando o betão está fresco para o estado sólido quando inicia a presa, nesse período o betão tem um efeito considerável nas pressões laterais para elementos verticais que atuam nos elementos de cofragens, nos elementos horizontais considera-se apenas o peso. Valores esses que influenciam no

correto dimensionamento das cofragens, segundo Sá Correia (2008) [12].

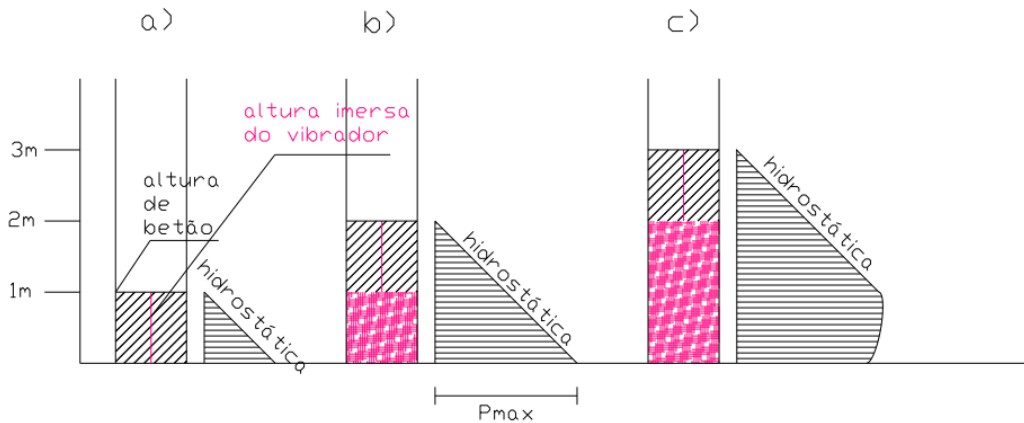


Figura 8. Exemplo da pressão que atua na cofragem de um pilar. (Fonte: Sá correia (2008))

### 2.2.6.3.1 Método de ACI (2001)

A pressão lateral do betão pode ser calculada através da equação:

$$p = w \cdot h \quad (1)$$

**P** é a pressão lateral em  $\text{kN}/\text{m}^2$ ;

**W** é o peso do betão em  $\text{kN}/\text{m}^3$ ;

**H** é a profundidade do betão fresco desde o topo da colocação do betão até ao ponto a considerar.

Para pilares ou outros elementos quando são conhecidos outros dados para além do peso do betão e da altura, como a velocidade de enchimento e a temperatura do betão, a pressão lateral vem dada por equações, onde a equação 2 expressa a pressão lateral do betão em pilares e a equação 3 pressão lateral do betão em pilares-parede.

$$P = C_w * C_c * \left( 7,2 + \frac{1156 + 244 * R}{T + 17,8} \right) \quad (2)$$

$$P = C_w * C_c * \left( 7,2 + \frac{785 * R}{T + 17,8} \right) \quad (3)$$

Onde:

**P** é a pressão lateral em  $\text{kN}/\text{m}^2$

**T** é a temperatura do betão durante a betonagem em °c;

**R** é a velocidade de enchimento do betão em m/h;

**Cw** é um coeficiente relacionado com o peso do betão exposto na tabela 2

**Cc** é um coeficiente químico exposto na tabela 2

Para a aplicação destas equações, pilares são definidos como elementos com dimensões em planta não superiores a 2m. Paredes são definidas como elementos verticais com, pelo menos, uma dimensão em planta superior a 2m.

Peso do betão, w (KN/m3)	Cw
< 22,5	$0.5 \cdot \left[ 1 + \left( \frac{w}{23.2} \right) \right]$ mas não inferior a 0,80
22,5 ≤ w ≤ 24	1
>24	$\frac{w}{23.2}$

Tabela 2. Coeficiente que relacionado com o peso do betão, Cw. Fonte: Sá correia (2008)

Tipo de cimento ou mistura	Cc
Tipo I e III sem retardadores	1,0
Tipo I e III com um retardador	1,2
Outros tipos ou misturas que contêm menos de 70% de escórias ou 40% de cinzas volantes sem retardadores	1,2
Outros tipos ou misturas que contêm menos de 70% de escórias ou 40% de cinzas volantes com um retardador	1,4
Misturas que contêm mais de 70% de escórias ou 40% de cinzas volantes	1,4

Tabela 3. Coeficiente químico, Cc. Fonte: Sá correia (2008)

### 2.2.6.3.2 Método Rodin (1952)

Para Rodin, no cálculo da quantificação da pressão lateral do betão compactado com vibrador é apenas necessário considerar-se o ritmo de enchimento do betão.

$$P_{max} = 39,2 * R^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

$P_{max}$  é a pressão lateral em  $kN/m^2$ ;

$R$  é a velocidade de enchimento do betão fresco  $m/h$ ;

### 2.2.6.3.3 Método de DIN 18218 (1980)

A equação 5 aplica-se a betões com consistência k2/k3, referida na tabela 4, e temperaturas entre os 5°C e os 30°C, sendo independente da altura de betonagem, essas análises feitas pressupõem que o peso do betão fresco são  $25 kN/m^3$ , o tempo de assentamento do betão é de 5h e a compactação é feita com vibrador interno.

$$P_{max} = W * C_2 * K * (0,48 * R + 0.74) \quad (5)$$

$$C_2 = 0.065 * Tv + 1 \quad (6)$$

$$K = \frac{145-3T}{100} \quad (7)$$

$P_{max}$  é a pressão lateral em  $kN/m^2$ ;

$W$  é o peso específico do betão em  $kN/m^2$ ;

$R$  é a velocidade de enchimento do betão fresco ( $m/h$ );

$C_2$  é um coeficiente que depende da utilização de aditivos expresso na equação (6);

$Tv$  é o tempo de atuação do retardador em horas;

$K$  é um coeficiente de temperatura expresso na equação (7);

$T$  é a temperatura do betão em °C;

Graus de consistência		Slump, a	Compactação, v, segundo Walz
Significado	Símbolo	cm	
dura	K1	-	1,45 a 1,26
plástica	K2	1 a 5	1,25 a 1,11
mole	K3	6 a 15	1,10 a 1,04

Tabela 4. Graus de consistência. (Fonte: DIN 18218)

Quando se desconhece todos factores acima citados que influenciam na correta e mais precisa quantificação da pressão lateral do betão deve considerar-se a expressão que é utilizada frequentemente para expressar o empuxo lateral dos solos em estruturas de contenção, que é a teoria de Rankine que apenas considera o ângulo de atrito interno do betão.

$$k = \frac{1 - \text{sen}(\phi)}{1 + \text{sen}(\phi)} \quad (8)$$

### 2.3 Remoção das cofragens

Descofragem é o processo de remoção das cofragens na estrutura as cofragens não podem ser removidas sem antes ganhar a resistência e deverá ser efetuada seguindo as especificações normalizadas para cada tipo de classe de betão e para elemento, o método usado é função do tempo que o betão *in situ* aumenta o seu coeficiente de resistência em função dos dias aos 3, 7, 21, e aos 28 onde ganha sua resistência final que levará ao tempo de vida útil da estrutura.

Elemento estrutural a descofrar	Tempo necessário (dias)
Faces laterais vigas, pilares, e pilares-parede	2 a 3
Faces inferiores lajes de vãos ≤ 6m	7
Faces inferiores lajes de vãos ≥ 6m	14
Lajes fungiformes de elevado peso	28

*Tabela 5. Tempo mínimo necessário de descofragem dos elementos estruturais (fonte: Daniel Baloi) [13]*

É muito importante respeitar esses prazos para evitar fissuras e outros tipos de patologias no concreto que podem ser causadas pela carga atuante nesta etapa de execução.



### **3. Capítulo III: Montagem dos sistemas de escoramentos e cofragens da portagem de Zintava em Maputo.**

O corrente capítulo de trará uma abordagem mais direta daquilo que é um dos objectivos gerais do trabalho, e será dividido em duas (2) partes.

A primeira parte será constituída pelas as actividades desenvolvidas no âmbito do estágio profissional e a segunda que é o dimensionamento dos sistemas de cofragens e cimbramentos.

#### **3.1 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS**

O estágio profissional foi desenvolvido na obra onde foi possível acompanhar de perto as seguintes principais actividades que serviram como objeto de estudo:

- Betonagem da fundação;
- Montagem dos sistemas de escoramentos para os pilares;
- Cofragem dos pilares;
- Betonagem dos pilares;
- Montagem dos sistemas de escoramentos para laje e vigas;
- Cofragem das vigas e lajes da cobertura;
- Betonagem da lajes e vigas da cobertura;

### 3.1.1 Descrição geral da obra

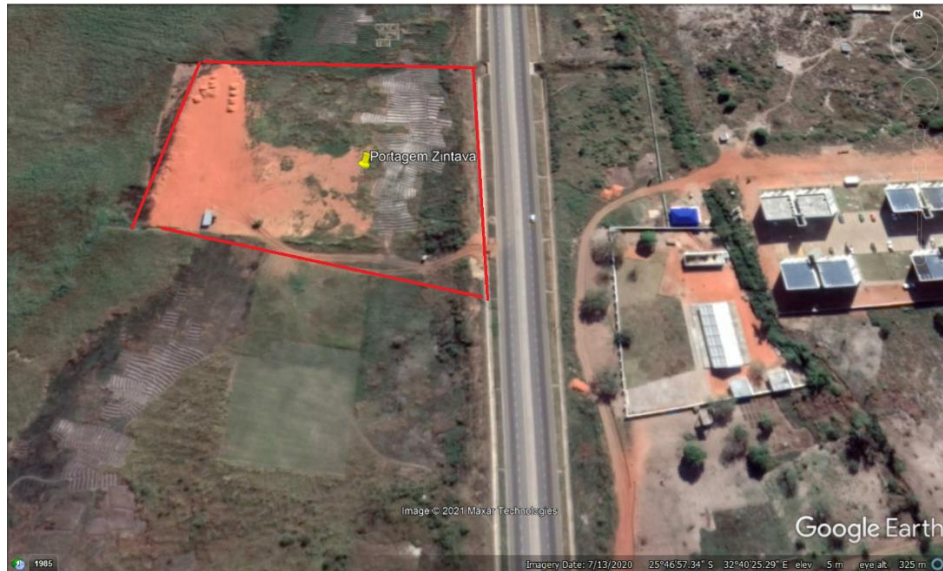


Figura 9. Localização da obra. (fonte: Google Earth)

O projecto consiste na construção de uma portagem das quatro portagens a serem implantadas na estrada circular, portagem essa que é constituída por três edifícios nomeadamente: o edifício principal que é a própria portagem, o edifício administrativo e o centro de manutenção com uma área total a implantar o projecto é de  $6720 m^2$ .

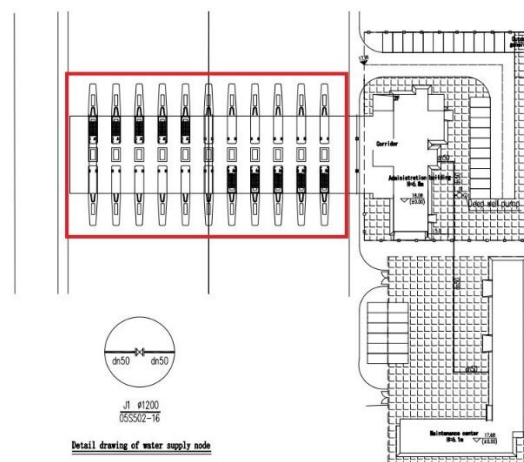


Figura 10. vista em planta dos três edifícios (fonte: projecto estrutural da portagem de Zintava da CRBC)

### 3.1.2 Descrição Arquitectónica do edifício

No nosso edifício em análise é constituído cabines de cobrança, faixas de rodagens, e escadas que dão acesso a laje de cobertura que dá acesso directo ao edifício principal.

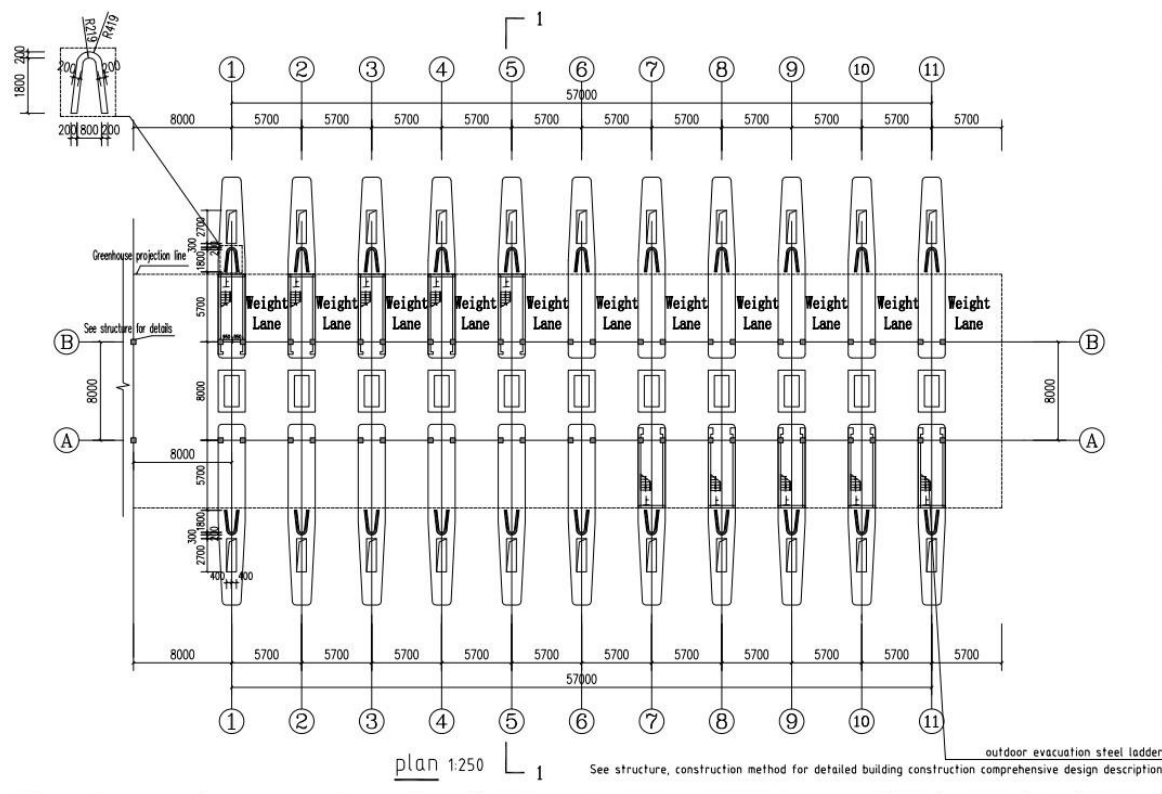


Figura 11. Planta de piso das portagens (fonte: projecto estrutural da portagem de Zintava da CRBC)

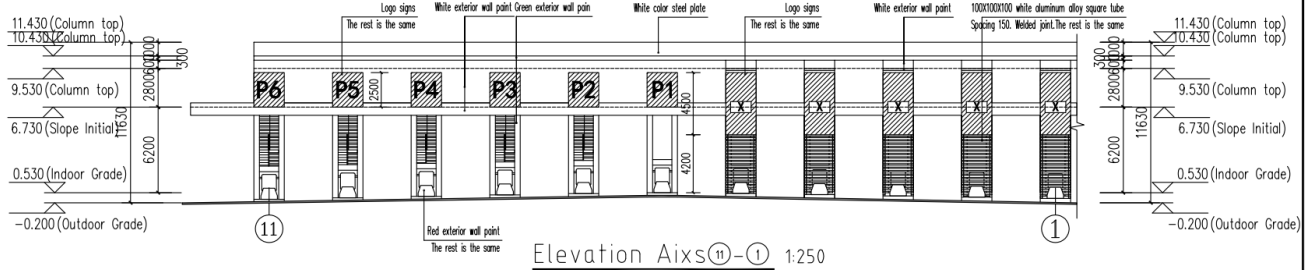


Figura 12. Alçado frontal do edifício. (fonte: projecto estrutural da portagem de Zintava da CRBC)

### 3.1.3 Descrição estrutural do edifício

O elemento estrutural do edifício em estudo teve como solução adoptada para cada um dos elementos estruturais em betão armado, exceto as escadas que eram metálicas apoiadas em pilares de perfis metálicos conectados a laje através de chumbadores. Portanto o edifício no geral foi implementado as seguintes soluções:

- Cobertura - em laje maciça vigada vigas em secção trapezoidal e retangulares;
- Pilares - de secção retangulares;
- Escadas – metálicas com lanços e patamares retangulares.
- Fundações - directas feitas em sapatas conjuntas e isoladas;

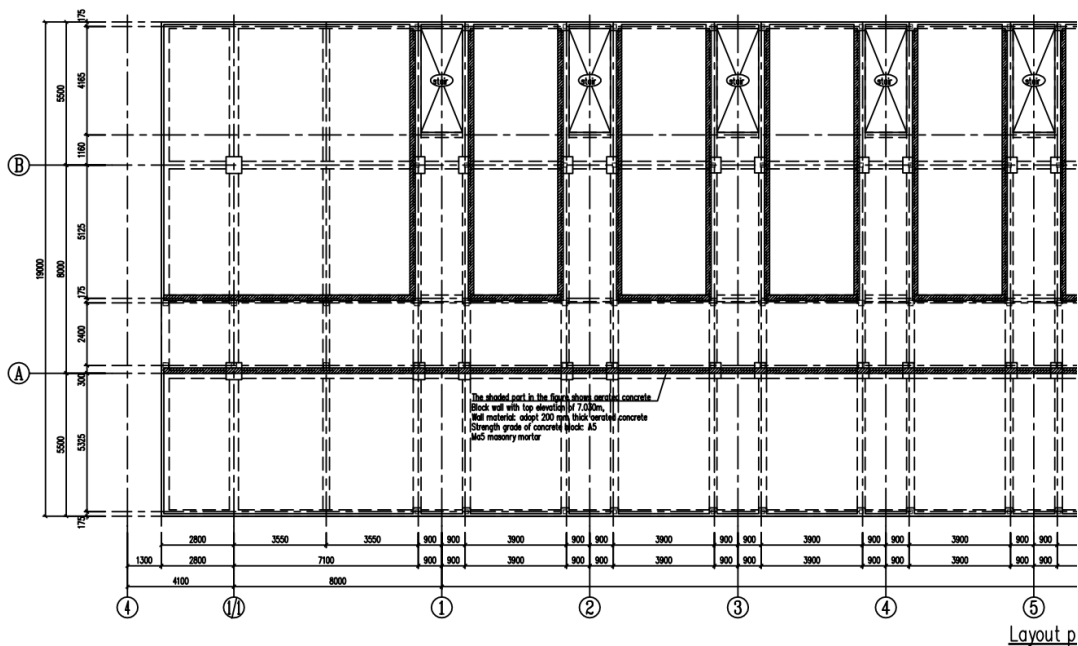
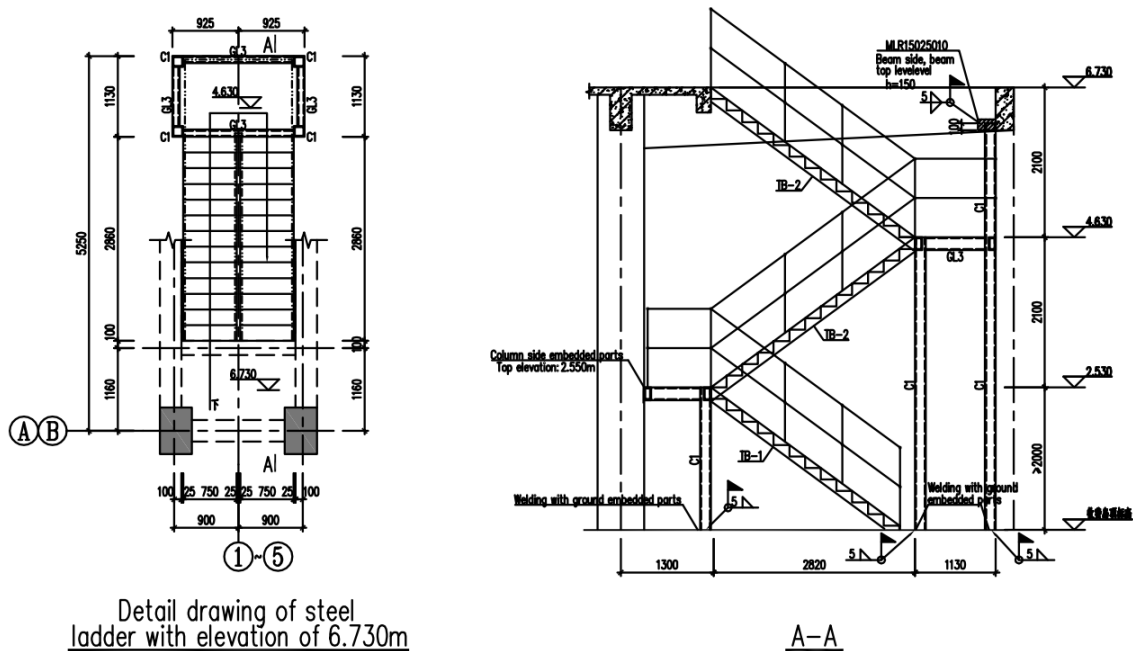


Figura 13. planta da laje de cobertura (fonte: projeto estrutural da portagem de Zintava da CRBC)



Detail drawing of steel ladder with elevation of 6.730m

A-A

Figura 14. Pormenor em planta e alçado das escadas das cabines (fonte: projeto estrutural da portagem de Zintava da CRBC)

Resumidamente, o edifício em estudo foi executado respeitando todas as linhas generalistas do projeto arquitetónicos e estruturais que o constituem de modo a obedecer sua correta aplicação e utilização.

### 3.1.4 Atividades desenvolvidas

Nesta secção far-se-á descrição das actividades desenvolvidas no período de estágio de modo a fazer uma relação direta com o principal objeto de estudo que é os sistemas de escoramentos e de cofragens para edifícios.

#### 3.1.4.1 Betonagem da fundação

A solução estrutural para presente estrutura foi o uso de fundações directas com recurso a sapatas isoladas e conjuntas com a classe do betão para o elemento em questão, após colocada as cofragens e escoramentos das cofragens, procede-se com a colocação das armaduras e betonagem com um betão B35.

A mistura foi preparada no estaleiro da empresa CRBC e transportada através de um camião betoneira, devido ao enorme volume a betonar, tendo sido verificada que a estrutura portante do material a betonar está pronta para receber o betão faz-se a inspeção do local a betonar de modo a evitar materiais indesejados usa-se também aspirador e soprador de folhas para limpar as partículas sólidas não estejam contidas no betão.

Seguidamente colocou-se o betão nas cofragens e procede-se ao seu adensamento em molde. O betão fresco é transportado para aplicação no elemento estrutural com recurso a uma grua e um balde. Após a sua colocação faz-se vibração no interior do betão para remover índices de vazios no material.



*Figura 15. Transporte e colocação do betão nas sapatas*

Ainda fresco é feito o nivelamento e alisamento das superfícies sem contacto com os moldes usando réguas metálicas e talochas.



*Figura 16. Nivelamento das superfícies das sapatas.*

#### **3.1.4.2 Montagem dos sistemas de escoramentos para os pilares**

Para dar continuidade as fundações já betonadas e executar-se os pilares, foi necessária a colocação de um pavimento provisório de betão simples de classe B20 e foi devidamente nivelado teve uma espessura de 15cm com objetivo de servir de base para assentar as escoras e evitar assentamentos diferenciados durante o período de utilização, feito isso,

com recursos à instrumentos de medição como réguas níveis, *chalk-line*, linhas de *nylon* usados como guia de nível.

O traçado e marcação das arestas por onde estarão assentes as escoras no pavimento provisório com recurso à marcadores denominados *chalk-lines* seguindo a orientação dos desenhos estruturais.

O sistema de escoramentos usados para os pilares e os elementos estruturais subsequentes na obra quanto ao tipo de material são escoramentos não-tradicionais, isto é, são escoramentos metálicos que formam cimbres constituídos por tubos roll de ferro galvanizado com  $\varnothing 48\text{mm}$  apoiados ao solo e acoplados com braçadeiras fixas.



*Figura 17. Pavimento provisório servindo de base de apoio do sistema de escoramentos do edifício principal.*

Os tubos roll possuem uma grande vantagem que é a sua versatilidade quanto a sua disposição, podendo assumir várias formas, portanto, após a colocação dos apoios de madeira, é feita a instalação das escoras verticais e formam pórticos através da sua acoplagem.

Foram respeitados os cuidados a ter em consideração como:

- A verificação do estado de degradação, e deformação lateral dos tubos a colocar, pois não é recomendável que se use materiais com elevado estado de deformação visíveis.
- O controle das ligações aparafusadas para ver se estão devidamente apertadas.

A marcação foi feita com auxílio de marcadores, esquadros, nível à laser de linhas, fixando também fios de alinhamento de nylon como guia de nível. As escoras deverão formar ângulos de  $90^\circ$  e as vigas de solidificação deverão formar ângulo de  $0^\circ$  daí a necessidade de usar esses instrumentos de medição e auxiliares no processo da sua montagem é necessário verificar a sua verticalidade.

#### **3.1.4.3 Execução dos pilares**

Tendo iniciado os trabalhos preliminares para a sua execução anterior ligação dos varões de espera da fundação através de soldadura, coloca-se as cintas de amarração com as armaduras principais, e a sua continuidade foi garantida através da soldadura e a posição da soldadura foi colocada de forma intercalada de modo a evitar a criar um único plano de corte.

Feita as amarrações das armaduras principais e cintas, coloca-se bloquetes com 5cm de espessura serve para o recobrimento da secção transversal do betão e foram afixados nas armaduras e espaçadas verticalmente à 20cm nas faces exteriores de modo a garantir o recobrimento e evitar o contacto das armaduras e a cofragem.

#### **3.1.4.4 Cofragem dos pilares**

O tipo de cofragem empregue para este elemento estrutural foi a cofragem tradicional recuperável, após a montagem do sistema de escoramento é dado momento de aplicação das cofragens e a sua montagem foi pré-fabricadas no estaleiro da empresa de forma que houvesse uma maior rapidez de execução dessa atividade. Colocado as chapas de cofragens de contraplacado de madeira de 21mm de espessura e sarrafos de 6,5x3,5cm escolhidas por auferir baixo peso próprio, boa resistência à compressão, baixa condutibilidade térmica (que poderia induzir no interior do betão).

Os sarrafos foram espaçados a 15cm que serviu de apoio evitando o contacto direto entre a madeira contraplacada e as barras Dywidag espaçadas à 40cm.





*Figura 18. Preparação da montagem das cofragens.*

Marca-se com recuso à *chalk-lines* as arestas do pilar e coloca-se as chapas de cofragens após aplicadas o óleo descofrante para limpeza e descofragem dos painéis de cofragem. por cima das marcações feitas, afixa-se as barras Dywidag de amarração, é feita a verificação da sua verticalidade do molde com recurso a réguas níveis e essa etapa é bastante importante em termos estéticos, e funcionais do elemento a executar. Com recurso a réguas níveis de bolha coloca-se na superfície da cofragem de modo a verificar se o elemento forma ângulo de  $90^\circ$  em toda sua extensão da superfície da cofragem.



*Figura 19. colocação dos espaçadores*



*Figura 20. Estado final do escoramento e cofragens.*



*Figura 21. Disposição geral das escoramentos e cofragens*

### **3.1.4.5 Nivelamento dos pilares**

A verticalidade do pilar é uma operação que carece a atenção por parte do carpinteiro de cofragens. Uma cofragem mal feita desfigura o pilar, portanto, pode-se garantir a verticalidade do pilar e utilizando através de fios de prumo que é um elemento usado na construção para alinhar um plano vertical, é constituído por um pilão suspenso num fio, e é feita essa verificação em cada arresta do pilar. Essa tarefa foi sucedida com o recurso ao nível prumo de centro, nível laser de linhas, linhas de *nylon*, e fita métrica. Consiste em

colocar e amarrar o prumo de centro no topo do pilar tirar medidas em das arestas até um ponto conhecido a partir do mesmo referencial (da chapa de cofragem) da parte inferior já betonada e a parte superior já cofrada e fazer a medição até o ponto marcado, portanto, ao fazer essas medições as medidas devem ser iguais o que indica que o pilar está vertical pronto para betonar, caso não esteja há necessidade fazer o ajuste da sua verticalidade com recurso a sapatas metálica ajustável.



*Figura 22. Verificação da verticalidade do pilar*



*Figura 23. Medições para verificação do alinhamento do pilar*

#### **3.1.4.6 Betonagem dos pilares**

Com as armaduras devidamente amaradas e cofragens devidamente alinhadas, resta somente concluir a betonagem dos pilares, a mistura (B35) foi preparada no próprio estaleiro da CRBC e transportada num camião betoneira e colocada nos moldes dos elementos através de um balde transportado pela grua um método pouco recomendado (para aquela

altura) e quantidade de trabalho a executar o que tornou o trabalho bastante moroso, após a colocação do betão no molde e faz-se vibração no interior do betão para remover as bolhas de ar e conferir uniformidade ao material.



*Figura 24. Betonagem dos pilares*

#### **3.1.4.7 Montagem do sistema de escoramento da cobertura**

Os sistemas de escoramentos usados na obra foram metálicas normalizadas com tubos roll acoplados entre si através de braçadeiras fixas e móveis, são escoramentos apoiados no solo e os materiais usados nas cofragens são de madeira maciça e contraplacados ligados através de pregos.

Para sua execução será necessário o uso do mesmo sistema de escoramento com tubos roll que já tinha sido em emprego para o escoramento dos demais elementos estruturais já executados (pilares). Essa tarefa inicia-se fazendo as marcações no pavimento provisório onde estarão as escoras para albergar as vigas e lajes como a betonagem desses dois elementos serão em simultâneo. As escoras serão apoiadas em bases de madeira que receberão as cargas vinda das escoras que por sua vez transmitirá ao pavimento e do pavimento ao solo. No processo de instalação das escoras deverão formar ângulos de  $90^\circ$  e as vigas de solidificação deverão formar ângulo de  $0^\circ$  em relação ao solo daí a necessidade de usar instrumentos de medição como réguas de Nivel, linhas de *nylon*, no processo da sua montagem é necessário verificar a sua verticalidade, e o seu espaçamento usado é o mesmo adotado no escoramento dos pilares.



*Figura 25. Marcação e colocação das bases para as escoras*

#### **3.1.4.8 Alinhamento das cotas das bases das vigas**

Dado por concluído o escoramento total do edifício para recepção dos futuros sistemas de cofragens, sucedeu-se essa atividade que consiste na verificação e ajuste das cotas das vigas de solidificação de escoramento que servirão de suporte para bases das vigas, verificação essa que foi feita com recurso de instrumentos de medição como o nível à laser, vigas essas que deveriam estar todas à mesma cota para que as bases das cofragens não estejam em níveis diferentes.



*Figura 26. Alinhamento das cotas das bases das vigas*

#### **3.1.4.9 Montagem de cofragens para lajes e vigas.**

O tipo de cofragem empregue trata-se de uma cofragem recuperável tradicional constituída por materiais convencionais como a contraplacado e madeira serrada, após feito o alinhamento das cotas das bases das vigas iniciou-se a montagem das cofragens para vigas e lajes que teve como base para sua execução o uso dos projecto estrutural.



*Figura 27. Montagem das cofragens para vigas e lajes.*

Para cofragem das vigas os usos dos sarrafos foram espaçados à 15cm e serviu de apoio da base e das laterais da chapa de contraplacado para evitar a deformação durante a betonagem e a cura para que não estejam fora dos limites admissíveis de deformação, durante a execução de cofragem deixa-se a uma das faces laterais das vigas de modo a permitir e facilitar a execução das armaduras e colocação de espaçadores travessas essas que são escoradas com sapatas metálicas



*Figura 28. Disposição da cofragem da viga.*

#### **3.1.4.10 Betonagem da laje e vigas**

A betonagem desses dois elementos estruturais sucedeu no mesmo dia e foram feitas em simultâneo, para betões com a mesma classe de resistência (B35) e os elementos foram enchidos de betão com uma velocidade de enchimento de  $8\text{m}^3/\text{h}$ , antes da betonagem fez-se a verificação das amarrações das malhas da laje e removeu-se todas impurezas contidas na base das cofragens com recurso a aspirador e soprador de folhas, a mistura essa que foi preparada e transportadas no estaleiro da própria empresa e colocada através de mangueiras, e com recurso à vibradores de agulho vibrou-se o interior do betão para eliminar os vazios no seu interior. Ainda fresco, com pá de alisar nivelou-se toda superfície exterior betonada.



*Figura 29. Betonagem da laje de cobertura e das vigas.*



*Figura 30. resultado final após a betonagem e cura da laje e vigas*

#### **3.1.4.11 Impermeabilização das lajes**

A infiltração de fluidos (água e gases) nas peças de betão armado é um problema muito sério. Ela pode causar a corrosão das armaduras devido a presença de água no betão e conseqüente diminuição da vida útil da estrutura. Para a proteção da estrutura houve a necessidade de impermeabilização da laje. Esse processo foi executado aplicando manta asfáltica com uso de maçarico para criar aderência entre a superfície da laje e a base da manta asfáltica.





*Figura 31. Aplicação da manta asfáltica*

Após a aplicação do impermeabilizante na laje, para evitar-se a exposição direta com sol, pessoas e equipamentos que possam a vir danificar, e prejudicar o seu funcionamento usual colocou-se betonilha com 5cm de espessura e traço 1:4 com inclinação de 1% em direcção aos tubos de quedas para drenagem de água pluviais.



*Figura 32. Aplicação de betonilha na laje*

### 3.2 Dimensionamento dos sistemas de escoramentos e das cofragens do edifício principal.

Neste capítulo far-se-á o dimensionamento e comparação dos sistemas de escoramentos e cofragens usados na obra e os teóricos de modo a verificar se houve um correto dimensionamento usado em termos de segurança, economia e execução desses elementos na obra.

Como o objeto de estudo é o sistema de escoramentos e de cofragens, nessa secção far-se-á o dimensionamento do mesmo edifício que teve como sistemas de escoramentos normalizados, metálicos, apoiado ao solo, mas o que irá diferir totalmente será o uso de vigas h20 como apoio para cofragens da laje.

#### 3.2.1 Dimensionamento de cofragem para pilares

##### Quantificações das acções

As acções a quantificar e considerar são o peso próprio do betão, impacto das vibrações, e sobrecargas dos trabalhadores, equipamentos, etc. O impacto das vibrações é directamente proporcional ao peso do betão no seu interior deve considerar-se 10% do mesmo, e o peso específico a considerar do betão fresco é de  $25\text{kN/m}^3$ .

Portanto, para uma altura velocidade de enchimento de  $1\text{m/h}$  a pressão lateral é de:

$$P_{max} = 39,2 * R^{\frac{1}{3}} = 39,2 * 1^{\frac{1}{3}} = 39,2\text{kN/m}^2$$

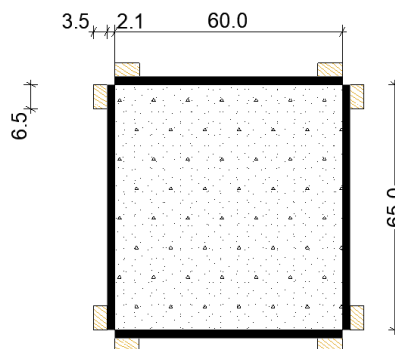


Figura 33. disposição das cofragens nos pilares (fonte: Autor)

A altura total de cada pilar é de  $6,74\text{m}$  como a betonagem será em duas fases, portanto para efeitos de cálculo deverá considerar a metade  $6,74/2=3,37\text{m}$ .

$$H_{pilar} = 3,37\text{m}$$

$$P = \gamma_{betão} * H_{pilar} = 25 * 3,37 = 84,3\text{kN/m}^2$$

Características mecânicas dos sarrafos:

- Módulo de elasticidade  $E=69,1$  MPa
- Tensão de cedência  $\sigma_{rd}=31,5$  MPa

Como a pressão máxima é maior que a pressão lateral do betão deverá usar-se o valor  $P_{max}$ .

Estado limite de utilização

$$q = q_{bet\tilde{a}o} + q_{vibração} + q_{sobrecarga}$$

$$q_{sobrecarga} = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 39,2 + 0,1 * 39,2 + 1 = 44,1 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{sd} = 1,5 * 44,1 = 66,2 \text{ kN/m}^2$$

Estado limite de últimos

$$q = q_{bet\tilde{a}o} + q_{vibração} + q_{sobrecarga}$$

$$q_{sobrecarga} = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 39,2 + 0,1 * 39,2 + 2 = 45,1 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{sd} = 1,5 * 45,1 = 67,7 \text{ kN/m}^2$$

Dados geométricas da seção transversal

$$\bar{Y} = 32,5 \text{ cm}$$

$$I = \frac{3,5 \cdot 6,5^3}{12} \cdot 2 + \frac{2,1 \cdot 6^3}{12} + 3,5 \cdot 6,5 \cdot \left(32,5 - \frac{6,5}{2}\right)^2 + 3,5 \cdot 6,5 * \left(32,5 - \frac{6,5}{2}\right)^2 + 2,1 * 6 * (32,5 - 35)^2 =$$

$$I = 87147,7 \text{ cm}^4$$

$$W = \frac{I}{\bar{Y}} \Leftrightarrow W = \frac{87147,7}{32,5} \Leftrightarrow W = 2681,5 \text{ cm}^3$$

Estado limite de utilização

$$\delta_{sd} \leq \delta_{adm}$$

$$\frac{3}{460} \cdot \frac{q \cdot L^4}{EI} \leq \frac{L}{500} \Leftrightarrow \frac{3}{360} \cdot \frac{66,2 \cdot L^4}{69,1 \cdot 10^3 * 87147,7 \cdot 10^{-8}} \leq \frac{L}{500}$$

$$L \leq 0,65 \text{ m}$$

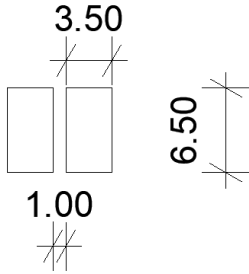
Seja o espaçamento máximo entre sarrafos  $l=0,5$ m

Verificação ao estado limite de últimos

$$\sigma_{sd} \leq \sigma_{adm} \Leftrightarrow \frac{qL^2}{16W} \leq \sigma_{adm} \Leftrightarrow \frac{66,7 \cdot 10^3 \cdot 0,5^2}{16 \cdot 2681,5 \cdot 10^{-6}} \leq \sigma_{adm}$$

$$0,4 \text{ Mpa} \leq 31,5 \text{ Mpa}$$

### Cálculo do espaçamento entre os cabos Dywidag



Considerando a largura máxima de influência de cada tensor é a distância máxima de cada sarrafo mais a largura do apoio.

$$I = \frac{3,5 \cdot 6,5^3}{12} * 2 \Leftrightarrow I = 160,2 \text{ cm}^4 \quad \bar{Y} = 3,25 \text{ cm}$$

$$W = 49,3 \text{ cm}^3$$

Estado limite de utilização

$$\delta_{sd} \leq \delta_{adm}$$

$$\frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{EI} \leq \frac{L}{500}$$

$$\frac{5}{384} \cdot \frac{66,2 \cdot L_g^4}{69,1 \cdot 10^3 * 160,2 \cdot 10^{-8}} \leq \frac{L}{500}$$

$$L \leq 0,51 \text{ m}$$

Adotando o espaçamento máximo entre os cabos Dywidag de amarração  $L_g = 0,4 \text{ m}$ .

Verificação ao estado limite de últimos

$$\sigma_{sd} \leq \sigma_{rd} \Leftrightarrow \frac{qL^2}{8W} \leq \sigma_{rd} \Leftrightarrow \frac{67,7 \cdot 10^3 \cdot 0,4^2}{8 \cdot 49,3 \cdot 10^{-6}} \leq \sigma_{rd}$$

$$27,1 \text{ Mpa} \leq 31,5 \text{ Mpa (verifica)}$$

Adotando um espaçamento de  $L = 0,4 \text{ m}$ .

### **3.3 DIMENSIONAMENTO DE COFRAGEM PARA A LAJE**

Os sistemas racionalizados para a execução da laje decompõem-se nos seguintes elementos: escoras (apoiados em cimbrês), vigas transversais, longarinas (vigas principais ou vigas longitudinais).

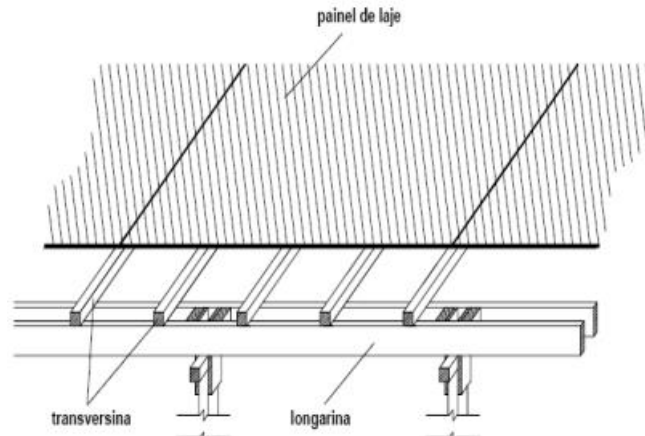


Figura 34. Exemplo de composição de cofragem e escoramento de uma laje

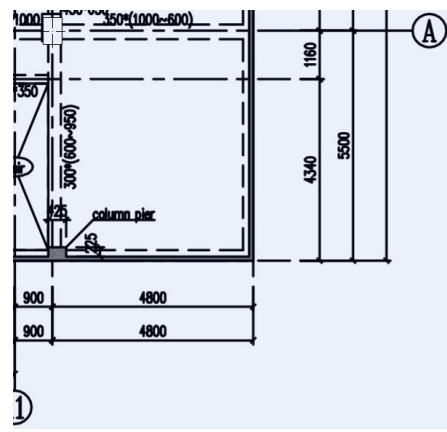


Figura 35. Planta de piso do painel da laje em análise (Fonte: projecto estrutural da portagem de Zintava da CRBC)

Ações permanentes:

Peso específico do contraplacado:  $4 \text{ kN/m}^3$

Espessura do contraplacado:  $21 \text{ mm}$

$$q_{\text{contraplacado}} = 4 \times 0,021 = 0,084 \text{ kN/m}^2$$

Peso do betão:  $25 \text{ kN/m}^3$

Espessura da laje:  $0,15 \text{ m}$

$$q_{\text{betão}} = 25 \cdot 0,15 = 3,75 \text{ kN/m}^2$$

Ações variáveis

Sobrecargas de trabalho=2kN/m<sup>2</sup> (estado limite últimos)

Sobrecargas de trabalho=1kN/m<sup>2</sup> (estado limite de utilização)

Ação do vento

Para a quantificação dessa acção deverá considerar-se o efeito dinâmico do vento  $\psi_o = 0.6$  (RSA) – artigo 9.6, segundo a sua localização considera-se que o edifício está localizado em zonas tipo a com rugosidade tipo II e com altura de 6,73m. Para um edifício a uma altura de 0-10m no artigo 24.2 – RSA o valor da pressão dinâmica do vento é de 0,9kN/m<sup>2</sup>.

$$v = 25\left(\frac{h}{10}\right)^{0.2} + 14 \Leftrightarrow v = 25\left(\frac{6.73}{10}\right)^{0.2} + 14 = 37,1 \text{ m/s}$$

$$W = 0,613v^2 \Leftrightarrow w = 0,613 \cdot 37,1^2 = 843,57 \text{ N/mm}^2$$

$$W = 0,8437 \text{ kN/m}^2$$

Como  $w > W_k$  deverá usar-se o valor de  $W_k$ .

Combinações das acções

$$qsd = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} S_{Gik} + \gamma_q [S_{Qik} + \sum_{j=2}^n \psi_{oj} S_{Qjk}]$$

$$qsd = 1,5(3,75 + 0,084) + 1,5(2 + 0,6 \cdot 0,9)$$

$$qsd = 9,6 \text{ kN/m}^2$$

Cálculo do vão máximo de cálculo do contraplacado

Características mecânicas do contraplacado:

- Módulo de elasticidade  $E = 8000 \text{ MPa}$
- Tensão de cedência  $\sigma_{rd} = 5,9 \text{ MPa}$
- O tipo de contraplacado a usar é abeto com espessura de 21mm.

Estados limites últimos

$$\sigma_{sd} \leq \sigma_{rd} \Leftrightarrow \frac{qL^2}{8W} \leq \sigma_{rd} \Leftrightarrow \frac{0,125 \cdot 9,6 \cdot L^2}{1 \cdot 0,021^2} \leq 5,9 \cdot 10^3 \Leftrightarrow L \leq 0,6 \text{ m}$$

$L = 0,6 \text{ m}$  vão teórico de verificação da flecha

Verificação ao estado limite de utilização

$$qsd = 3,75 + 0,084 = 3,8 \text{ kN/m}^2$$

Verificação da flecha para  $L=0,4\text{m}$

$$\frac{5}{384} \cdot \frac{3,8 \cdot 0,4^4}{8 \cdot 10^3 \cdot x^{\frac{1 \cdot 0,021^3}{12}}} \leq \frac{0,4}{500} \Leftrightarrow 0,21\text{mm} \leq 0,8\text{mm}(\text{verifica})$$

Adota-se um vão máximo de  $0,40\text{m}$  para o contraplacado

### Cálculo do vão das vigas secundárias de madeira h20

As vigas secundárias usadas são de madeira h20 e de secção representada na figura 30, em mm

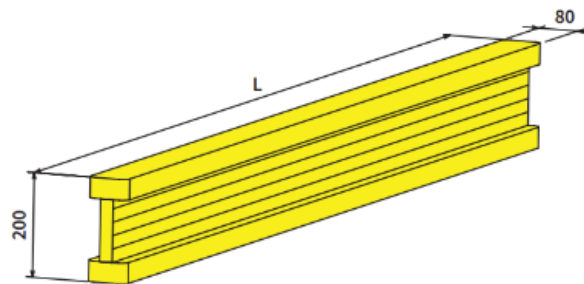


Figura 36. Dimensões da viga de madeira H20

- Momento resistente,  $M_{rd}=5,0\text{kNm}$
- Inércia,  $I=4290\text{ cm}^4$
- $Ei=450\text{kN/m}^2$
- Peso próprio, p.p.= $5,9\text{ kg/m}$
- Vão da viga  $5\text{m}$ .

$$Psd=9,6 \times 0,40 + 1,5 \times 0,059 = 3,9\text{kN/m}$$

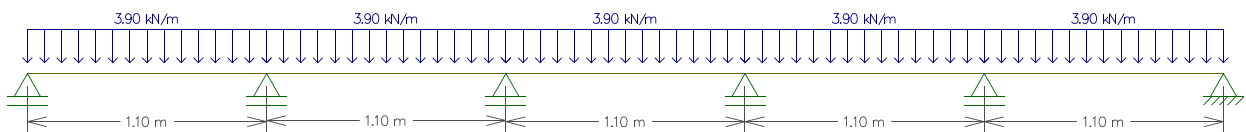


Figura 37. Diagrama de cargas (Fonte: Autor)

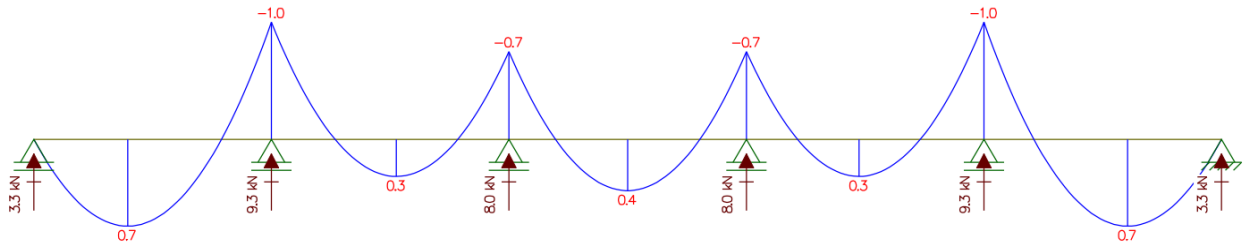


Figura 38. Diagrama de momento fletor (kNm) (Fonte: Autor)

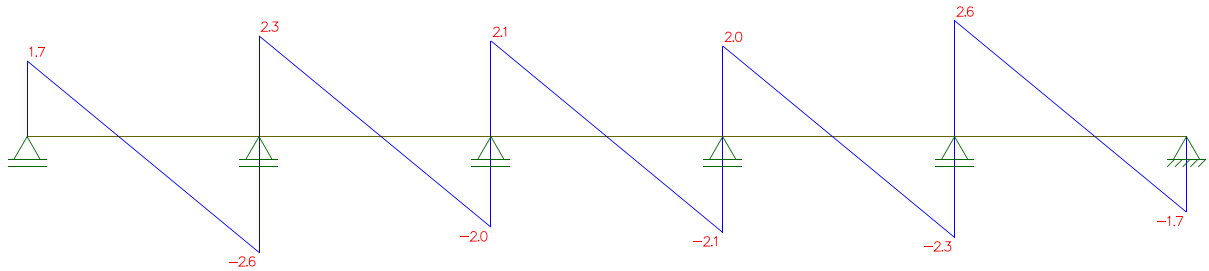


Figura 39. Diagrama de esforço transversal (kN) (Fonte: Autor)

Sabendo que o momento resistente do perfil são 5kNm e o esforço transversal admissível é de 11kN, conclui-se que está verificada a segurança para os dois casos.

Verificação do estado limite de serviço

Cálculo do psd.

$$Psd=G+Q=3,8.0,40+0,059=1,58kN/m$$

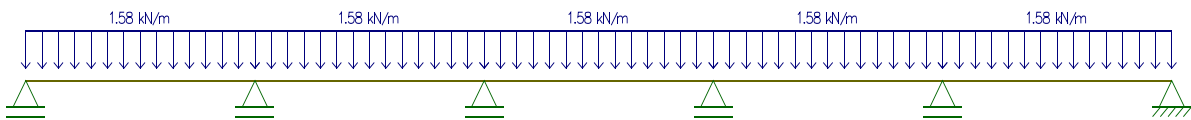


Figura 40. Diagrama de cargas para estado limite de utilização (Fonte: Autor)

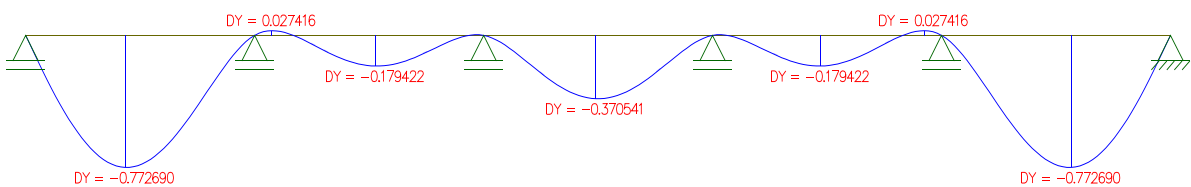




Figura 41. Diagrama de cargas para estado limite de utilização (Fonte: Autor)

Verificação da flecha, considerando um valor admissível.

$$\delta_{rd} = \frac{L}{500} = \frac{1,1 \cdot 1000}{500} = 2,2 \text{mm} \geq 0,77 \text{mm} \text{ (verifica)}$$

### Cálculo do vão das vigas principais

As vigas principais usadas em cofragens horizontais, podem ser em aço ou em madeira. Para este exemplo, usaram-se as vigas em madeira de secção representada na figura 35, iguais às usadas como vigas secundárias.

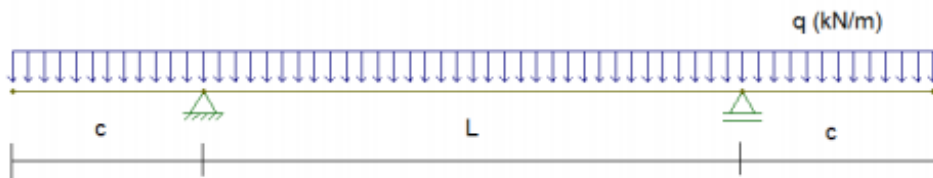


Figura 42. Diagrama de cargas (Fonte: Autor)

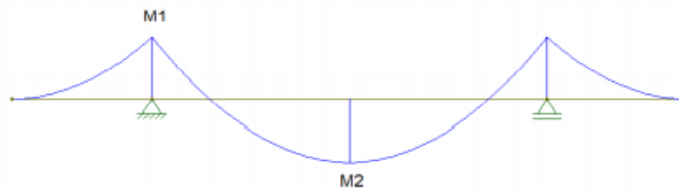


Figura 43. Diagrama de momentos (Fonte: Autor)

$$M_1 = \frac{qc^2}{2} \quad M_2 = \frac{qL^2}{8} - \frac{qc^2}{2} \quad M_1 = M_2 \Leftrightarrow C = 0,354L$$

### Estado limite último

Como o painel da laje tem o seu maior vão de 5,5m e para minimizar os momentos no perfil, calculou-se a posição ótima dos apoios. A relação encontrada entre c e l é independente do número de apoios. Pode ser para uma viga composta por dois tramos em consola e um tramo contínuo. Os comprimentos desses tramos serão:

Consola  $c=0,63\text{m}$  e para meio vão  $L=1,77\text{m}$  sabendo que a reação nos apoios tem um valor de  $9,3\text{kN}$  e que as vigas secundárias têm um espaçamento de  $0,40\text{m}$ , obtêm-se um  $\text{psd}=23,3\text{kN/m}$ .

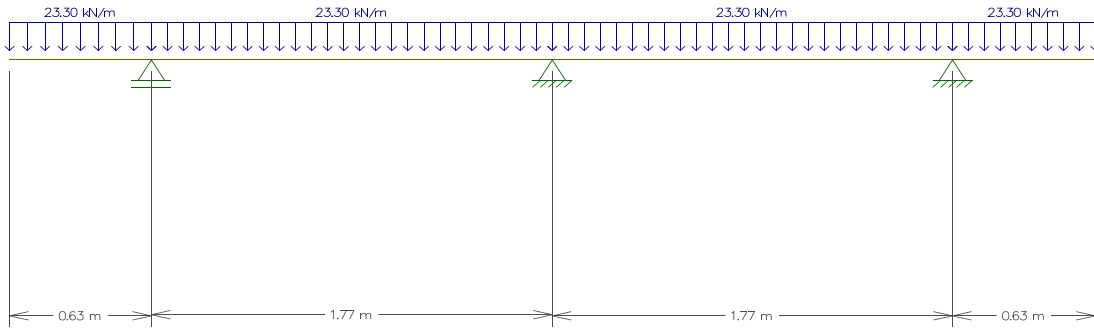


Figura 44. Diagrama de cargas para estado limite de utilização

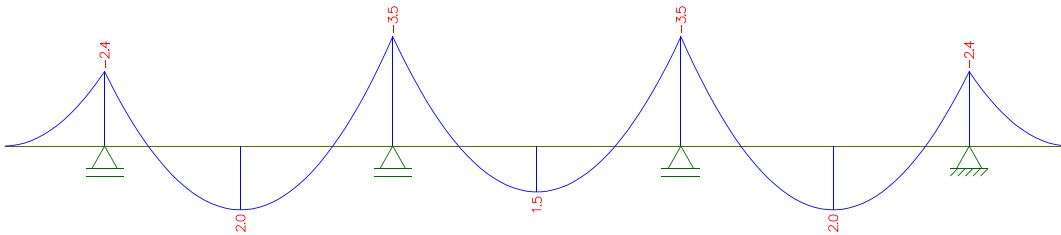


Figura 45. Diagrama de momentos fletores (kNm)

Sabendo que o momento resistente do perfil são 5kNm, conclui-se que está verificada a segurança.

Estado limite de serviço

sabendo que a reação nos apoios é de 9,3kN, e o espaçamento entre as vigas secundárias é de 0,40m, obtém-se um psd=11,6kN/m.

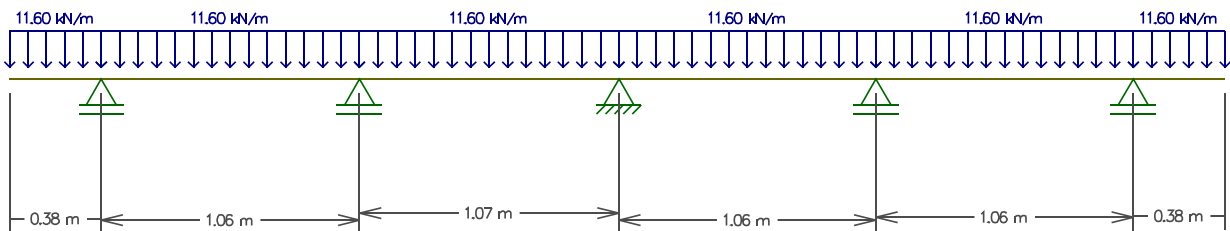


Figura 46. Diagrama de cargas

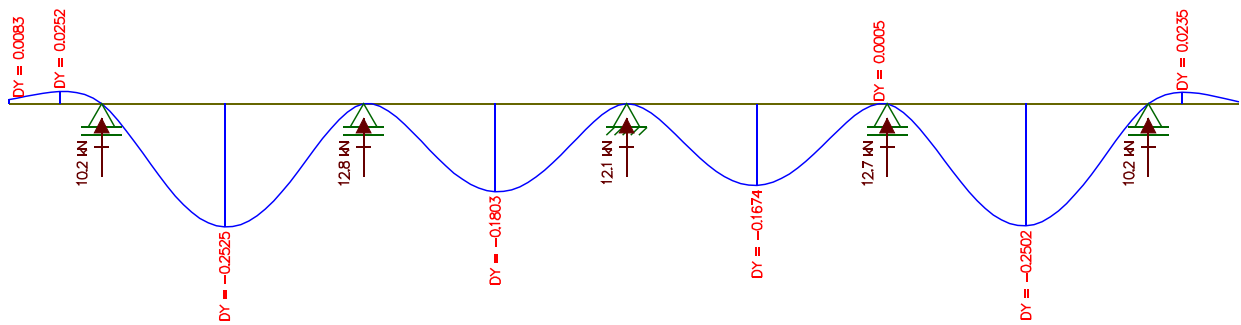


Figura 47. Representação das flechas (mm)

Verificação da flecha, considerando um valor máximo admissível de  $L/500$ :

Na consola:

$$L/500 = 0,38/500 = 0,76 \text{ mm} \geq 0,024 \text{ mm (verifica)}$$

No meio vão:

$$L/500 = 1,06/500 = 2,12 \text{ mm} \geq 0,25 \text{ mm (verifica)}$$

### 3.4 DIMENSIONAMENTO DE COFRAGEM PARA AS VIGAS

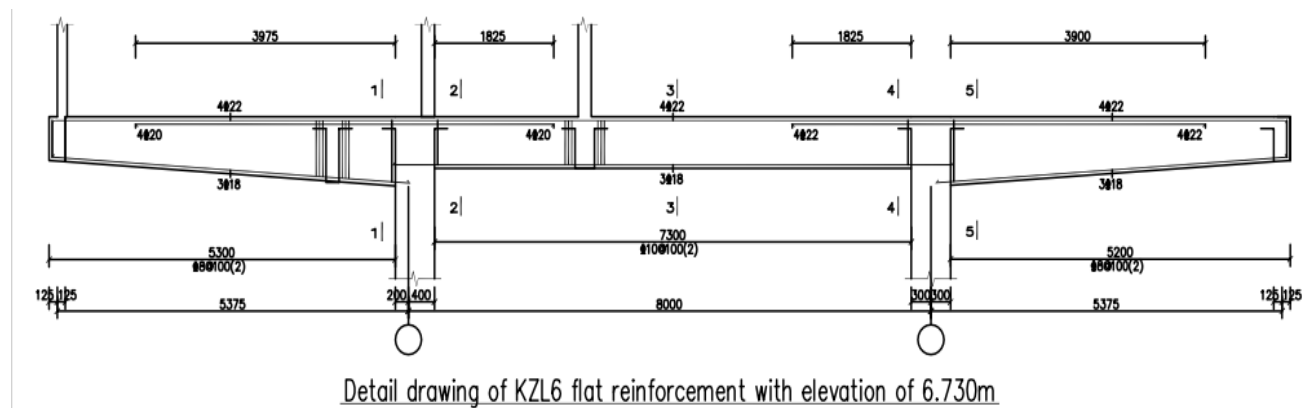


Figura 48. Secção transversal das vigas do pórtico em análise (fonte: projecto estrutural da portagem de Zintava da CRBC)

Vigas trapezoidais

Quantificação das acções

$$q = q_{\text{betão}} + q_{\text{vibração}} + q_{\text{sobrecarga}}$$

Considerando um ângulo de atrito interno de betão é de  $15^\circ$  temos o seguinte coeficiente de empuxo lateral:

$$k = \frac{1 - \text{sen}\theta'}{1 + \text{sen}\theta'} \Leftrightarrow k = \frac{1 - \text{sen}15^\circ}{1 + \text{sen}15^\circ} \Leftrightarrow k = 0,6$$

Estado limites últimos

$$q = 23,75 + 0,1 * 23,75 + 2 = 28,1 \text{ kN/m}^2$$

$$pv = 1,5 * 28,1 * 0,95 = 40,16 \text{ kN/m}$$

$$ph = 1,5 * 28,1 * 0,6 * 0,3 = 7,6 \text{ kN/m}$$

Estado limites de utilização

$$q = 23,75 + 0,1 * 23,75 + 1 = 27,1 \text{ kN/m}^2$$

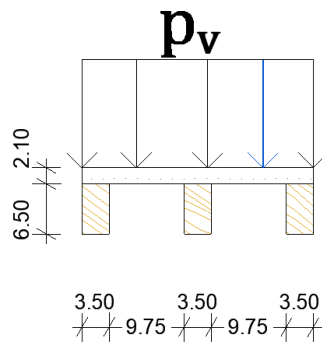
$$pv = 1,5 * 27,1 * 0,95 = 38,6 \text{ kN/m}$$

$$ph = 1,5 * 27,1 * 0,6 * 0,3 = 7,3 \text{ kN/m}$$

### Dimensionamento da cofragem de fundo

Cálculo da pressão vertical no fundo da base da cofragem

Propriedades geométricas da secção mista



$$\bar{Y} = \frac{3,5 * 6,5 * 3 * \left(\frac{6,5}{2}\right) + 2,1 * 30 * \left(6,5 + \frac{2,1}{2}\right)}{3,5 * 6,5 * 3 + 2,1 * 30} = 5,31 \text{ cm}$$

$$I = \frac{3,5 * 6,5^3}{12} * 3 + \frac{30 * 2,1^3}{12} + 3,5 * 6,5 * 3 * \left(5,31 - \frac{6,5}{2}\right)^2 + 2,1 * 30 * (5,31 - 7,55)^2$$

$$= 869,2 \text{ cm}^4$$

$$W = \frac{I}{\bar{Y}} = \frac{869,2}{5,31} \Leftrightarrow W = 163,7 \text{ cm}^3$$

Estado limite de utilização:

$$\delta_{sd} \leq \delta_{adm}$$

$$\left(\frac{1}{419,3}\right) \left(\frac{q \cdot L^4}{EI}\right) + \left(\frac{1}{184,6} + \frac{1}{419,3}\right) \left(\frac{2q \cdot L^4}{EI}\right) \leq \frac{L}{500}$$

⇔

$$\frac{L^4}{69,1 \cdot 10^3 * 869,2 \cdot 10^{-8}} \left[ \left(\frac{1}{184,6} + \frac{1}{419,3}\right) * 2 * 7,3 + 7,3 * \left(\frac{1}{419,3}\right) \right] \leq \frac{L}{500}$$

$$L \leq 0,209\text{m}$$

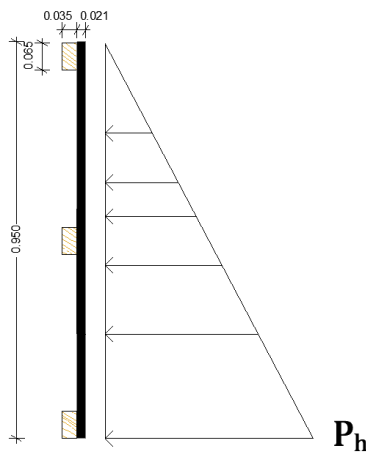
Consideraremos o mesmo o espaçamento dos sarrafos é o  $L_s = 0,12\text{m}$

Verificação ao estado limite de últimos

$$\sigma_{sd} \leq \sigma_{rd} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{qL^2}{14,2W} \leq \sigma_{rd} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{2 * 7,6 \cdot 10^3 * 0,10^2}{14,2 * 163,7 \cdot 10^{-6}} \leq \sigma_{rd} \quad \Leftrightarrow \quad 6,54\text{Mpa} \leq 31,5\text{Mpa (verifica)}$$

### Dimensionamento da cofragem lateral

Devido à pressão lateral do betão na cofragem para a menor o lado com maior altura



$$\bar{Y} = \frac{3,5 * 6,5 * \left(\frac{6,5}{2}\right) + 3,5 * 6,5 * (47,5) + 3,5 * 6,5 * 91,75 + 2,1 * 95 * (47,5)}{3,5 * 6,5 * 3 + 2,1 * 70} = 47,5\text{cm}$$

$$I = \frac{3,5 \cdot 6,5^3}{12} * 3 + \frac{2,1 * 95^3}{12} + 3,5 * 6,5 [(47,5 - 3,25)^2 + (47,5 - 47,5)^2 + (47,5 - 91,75)^2]$$

$$+ 2,1 * 70 * (47,5 - 47,5)^2 = 239372,8\text{cm}^4 \Leftrightarrow I = 239372,8\text{cm}^4$$

$$W = \frac{I}{\bar{Y}} = \frac{239372,8}{47,5} \quad \Leftrightarrow \quad W = 5039,43\text{cm}^3$$

Estado limite de utilização

$$\delta_{sd} \leq \delta_{rd}$$

$$\left(\frac{1}{419,3}\right) \left(\frac{q \cdot L^4}{EI}\right) + \left(\frac{1}{184,6} + \frac{1}{419,3}\right) \left(\frac{2q \cdot L^4}{EI}\right) \leq \frac{L}{500}$$

$$\frac{L^4}{69,1 \cdot 10^3 * 239372,8 \cdot 10^{-8}} \left[ \left(\frac{1}{184,6} + \frac{1}{419,3}\right) * 2 * 7,3 \cdot 10^3 + 7,3 \cdot 10^3 \left(\frac{1}{419,3}\right) \right] \leq \frac{L}{500}$$

$$L \leq 0,14m$$

Considerando o espaçamento entre os sarrafos de L= 0,11m

Verificação ao estado limite últimos

$$\sigma_{sd} \leq \sigma_{adm}$$

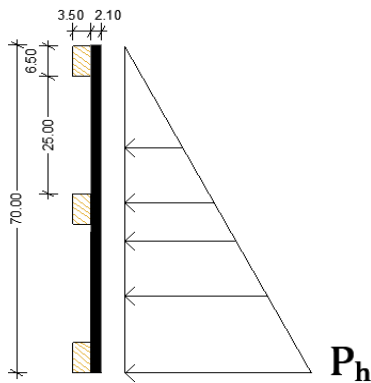
$$\frac{qL^2}{23,65W} + \frac{qL^2}{14,2W} \leq \sigma_{adm} \Leftrightarrow \frac{2 * 7,6 \cdot 10^3 * 0,11^2}{23,65 * 5039,43 \cdot 10^{-6}} + \frac{7,6 \cdot 10^3 * 0,11^2}{14,2 * 5039,43 \cdot 10^{-6}} \leq \sigma_{adm}$$

$$28,3Mpa \leq 31,5Mpa \text{ (verifica)}$$

$$\frac{0,11^4}{69,1 \cdot 10^3 * 239372,8 \cdot 10^{-8}} \left[ \left(\frac{1}{184,6} + \frac{1}{419,3}\right) * 2 * 7,3 \cdot 10^3 + 7,3 \cdot 10^3 \left(\frac{1}{419,3}\right) \right] \leq \frac{0,11}{500}$$

$$0,12mm \leq 0,22mm \text{ (verifica)}$$

Dimensionamento da cofragem lateral da viga trapezoidal no lado de menor altura



$$\bar{Y} = \frac{3,5 * 6,5 * \left(\frac{6,5}{2}\right) + 3,5 * 6,5 * (34,75) + 3,5 * 6,5 * 66,75 + 2,1 * 70 * (35)}{3,5 * 6,5 * 3 + 2,1 * 70} = 34,97$$

$$\cong 35cm$$

$$I = \frac{3,5 \cdot 6,5^3}{12} * 3 + \frac{2,1 * 70^3}{12} + 3,5 * 6,5 [(35 - 3,25)^2 + (35 - 35)^2 + (35 - 66,75)^2] + 2,1 * 70 * (35 - 35)^2 = 130624,9cm^4 \Leftrightarrow I = 106132,14cm^4$$

$$W = \frac{I}{\bar{y}} = \frac{1106132,14}{35} \Leftrightarrow W = 3032,4 \text{ cm}^3$$

Estado limite de utilização

$$\delta_{sd} \leq \delta_{rd}$$

$$\left(\frac{1}{419,3}\right) \left(\frac{q \cdot L^4}{EI}\right) + \left(\frac{1}{184,6} + \frac{1}{419,3}\right) \left(\frac{2q \cdot L^4}{EI}\right) \leq \frac{L}{500}$$

$$\frac{L^4}{69,1 \cdot 10^6 * 106132,14 \cdot 10^{-8}} \left[ \left(\frac{1}{184,6} + \frac{1}{419,3}\right) * 2 * 7,3 \cdot 10^3 + 7,3 \cdot 10^3 \left(\frac{1}{419,3}\right) \right] \leq \frac{L}{500}$$

$$L \leq 1,04 \text{ m}$$

Considerando o espaçamento entre os sarrafos de 0,25m

Verificação ao estado limite últimos

$$\sigma_{sd} \leq \sigma_{adm}$$

$$\frac{qL^2}{23,65W} + \frac{qL^2}{14,2W} \leq \sigma_{adm} \Leftrightarrow \frac{2 * 7,6 \cdot 10^3 * 0,25^2}{23,65 * 3032,4 \cdot 10^{-6}} + \frac{7,6 \cdot 10^3 * 0,25^2}{14,2 * 3032,4 \cdot 10^{-6}} \leq \sigma_{adm}$$

$$24,3 \text{ Mpa} \leq 31,5 \text{ Mpa (verifica)}$$

Como as demais vigas retangulares possuem a secção de 70x30 então pode assumir-se que terão a mesma disposição e para a viga 45x30 assume-se que os sarrafos estarão dispostos nos cantos, no quadro abaixo fez-se uma comparação de alguns elementos estruturais de como foram implementados na obra e dos seus valores teóricos dimensionados.

Elemento estrutural	Dimensões (cm)	Disposição	Elementos construtivos	Teórico		Prática		Observação	
				Espaçamento [L(cm)]	Quantidade	Espaçamento [L(cm)]	Quantidade		
Vigas Trapezoidais	95-70x30	Cofragem lateral	Sarrafos	15	3	11	4	Maior consumo de material usado no terreno	
		Cofragem do fundo		10	3	12	2	Consumo de material será aproximadamente o mesmo	
Vigas Transversais Rectangulares	70x30	Cofragem lateral		25	3	10	5	Maior consumo de material usado no terreno	
		Cofragem do fundo		12	2	12	2	Igualidade no consumo de materiais	
Vigas Longitudinais Rectangulares	45x30	Cofragem lateral		15	2	12	2	Igualidade no consumo de materiais	
		Cofragem do fundo		12	2	12	2	Igualidade no consumo de materiais	
	65x30	Cofragem lateral		25	3	10	5	Maior consumo de material usado no terreno	
		Cofragem do fundo		12	2	12	2	Igualidade no consumo de materiais	
Pilares	65x60	Cofragens		Gravatas	50	2	9.75	4	Maior consumo de material usado no terreno
					40	2	15	2	Maior consumo de material usado no terreno

Tabela 6. Resultados teóricos x usados na prática

Pode-se observar que, como um projecto adequado de cofragens traz na obra na sua economia, e a segurança necessária sem haver necessidade de sobredimensionar ou usar

simplesmente factores empíricos que traz como bagagem de outras obras já feitas, um exemplo prático disso é o caso das cofragens laterais para as vigas houve um sobredimensionamento na sua aplicação na prática e por outro lado o seu rompimento dos painéis foi evitado de modo a minimizar acidentes, e paralisações do processo construtivo.

### 3.5 Dimensionamento dos escoramentos

O tipo de material a usar nos escoramentos será metálico com secção circular após vários estudos de viabilidades feitos foi escolhida essa solução tal como a implementada na obra em estudo por possuir a facilidade de manuseio, facilidade montagem, não requer mão-de-obra, e esse elemento possui boa resistência à flexão, e aos esforços de tração. Elementos esses estará acoplado uns aos outros através de braçadeiras fixas, e é conhecido como tubo roll, e apoiados ao solo. mesmo material no caso de estruturas em aço, pode ser concebido por meio de barras que será acoplado através das braçadeiras fixas, e possuem a mesma resistência com as braçadeiras fixas, barras esbeltas de travamento em X, assim, faz-se com que o sistema trabalhe sob tração ao invés de flexão, e sua rigidez cresce consideravelmente

#### 3.5.1 Propriedades técnicas do tubo roll

tubos estes que detém as seguintes características:

Dados Técnicos		Aço
Tubo Comprimento: 25 até 600 cm	Diâmetro externo	48,3 mm
	Espessura da parede	3,0 mm
	Área da seção	4,27 cm <sup>2</sup>
	Peso por metro linear	3,50 kg
	Momento de inércia	191 cm <sup>4</sup>
	Momento de flexão admissível	0,635 kNm
	Módulo de Elasticidade	210.000 MPa

Figura 49. Propriedades mecânicas do tubo roll

Propriedades das braçadeiras fixas:

Peça em aço temperada e revenida para prender dois tubos em ângulos retos

- $P_{adm} = 9 \text{ kN}$
- $\sigma_{adm} = 14 \text{ kN/cm}^2$

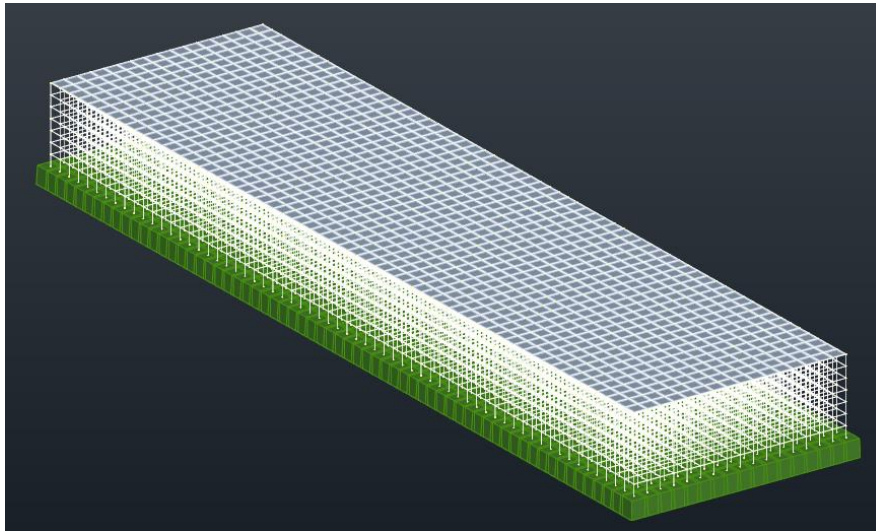
Para efeitos de cálculo apenas verificou-se a segurança dos cimbres na secção mais grave (os lados do maior vão da laje) e irá assumir-se o mesmo espaçamento para todos outros tramos caso este verifique a segurança.

O modelo de cálculo abaixo mostra o espaçamento vertical e horizontal dos tubos com 0,4m de modo a obter menores esforços para que estejam dentro dos valores admissíveis para o perfil e os seus elementos conectores.



### 3.5.2 Modelação estrutural dos cimbramentos

Para a análise do comportamento da estrutura foi elaborado um modelo tridimensional dos escoramentos adotado o modelo de elementos finitos e as condições de apoio foram definidas de modo a permitir movimentos. A seguir são apresentados o modelo da laje do tabuleiro e o modelo estrutural adotado para a determinação de esforços e tensões nos diferentes elementos estruturais.



*Figura 50. Modelação estrutural dos escoramentos (Fonte: Autor)*

Feita a modelação estrutural dos escoramentos foi feita no software **Robot Structural Analysis Professional 2023**, obteve-se os seguintes esforços axial, flexão, tensão máxima

e deformação, que são elementos importantes a verificar no correto dimensionamento desses elementos.

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)	S máx (MPa)	S mín (MPa)
<b>MÁX</b>	13,17	0,61	3,47	0,03	0,45	0,44	69,55	10,25
Barra	2534	2256	17624	17924	3045	17865	2248	10132
Nó	1695	1657	9974	10134	1982	10110	1650	5870
Caso	7 (C)	7 (C)	7 (C)	7 (C)	7 (C)	7 (C)	7 (C)	7 (C)
<b>MÍN</b>	-0,72	-0,61	-3,47	-0,03	-0,53	-0,44	-0,46	-68,55
Barra	17473	17865	2248	2300	2248	2241	16720	2248
Nó	9893	10110	1650	1687	1650	1642	9477	1650
Caso	7 (C)	7 (C)	7 (C)	7 (C)	7 (C)	7 (C)	7 (C)	7 (C)

Figura 51. Resultados obtidos do esforço axial, flexão, tensão máxima pelo cálculo da estrutura (Fonte: Autor)

	UX (cm)	UY (cm)	UZ (cm)
<b>MÁX</b>	0,0	0,0	0,0
Barra	2324	17730	17189
Caso	10 (C)	7 (C)	7 (C)
<b>MÍN</b>	-0,0	-0,0	-0,1
Barra	15445	2106	2248
Caso	8 (C)	7 (C)	7 (C)

Figura 52. Deformações das barras (cm) (Fonte: Autor)

Verificação da flecha, considerando um valor máximo admissível de  $L/500$ :

$L/500 = 120/500 = 0,24\text{cm} \geq 0,1\text{cm}$  (verifica).

### 3.5.3 Comentário acerca do dimensionamento teórico x escoramento usado na prática

Após efetuado o dimensionamento teórico do sistema de escoramento faz-se uma breve comparação ao espaçamento aplicado *in situ* e verifica-se que os espaçamentos aplicados são menores aos dimensionados teoricamente ( $L_{\text{Teórico}} = 1,2\text{m} > L_{\text{prática}} = 0,9\text{m}$ ), significa que o sistema aplicado na prática apenas resultou num consumo maior de material e tempo despendido para a sua aplicação

Dimensionamento do elemento	Nº de Barras	Nº de braçadeiras
Teórico	924	2308
Prático	1229	3070

*Tabela 7. comparação dos resultados teóricos e aplicados na obra*

Pelos cálculos feitos, observa-se que por falta de ausência de um dimensionamento ter-se-ia economizado cerca de 33% do valor gasto em obra com os escoramentos.

## **4. CAPÍTULO IV: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **4.1 CONCLUSÕES**

Este trabalho que teve como objetivo principal fazer o estudo do processo de dimensionamento dos sistemas de cimbramento e de cofragens valores teóricos obtidos do dimensionamento de um outro tipo de sistema escolhido, e foi dado por satisfeito esse objetivo.

É necessário frisar que dentro das duas soluções de escoramento metálico apresentadas (a teórica) que revelou um melhor desempenho foi a solução adoptada e implementada.

Portanto, a solução alternativa teórica adoptada do uso das vigas h20 é bastante eficaz e reduz a quantidade de serraços para bases da cofragem, permitindo grandes vãos na hora do seu uso.

Verificou-se que o uso das cofragens tradicionais recuperáveis possui uma limitação quanto ao espaçamento dos vãos que cada escora poderá suportar, apenas permite espaçamento de um metro, mas, o uso das vigas H20 é bastante eficaz e reduz a quantidade de serraços para bases da cofragem.

A importância também de haver o seu correto dimensionamento pois na sua ausência resultou com um acréscimo de 33% do valor a se gastar no aluguer de tubos roll e braçadeiras fixas.

Foi possível fazer o acompanhamento das actividades de modo a evitar acidentes graves ligados a ausência de dimensionamento e inspeção dessas actividades, como o caso da queda da laje de um edifício de restaurante da avenida marginal e das quedas de 5 funcionários na construção das torres Rani (2015).

## **4.2 RECOMENDAÇÕES**

Nos dias atuais no mercado da engenharia civil existem empresas que prestam serviços não só de fornecimento de equipamento de cofragens e escoramentos, mas sim também prestam um serviço de consultoria de modo a evitar subdimensionamentos e sobredimensionamentos desses elementos.

É importante também referir que é imperioso que o empreiteiro dimensione e elabore um projecto de escoramentos e cofragens bem detalhados sem esquecer os factores decisivos para o seu dimensionamento como velocidade de enchimento, adensamento do betão, temperatura do betão, etc.

A utilização de um programa de cálculo automático em situações reais de projecto de estruturas implica uma grande responsabilidade por parte do usuário, uma vez que é necessária a interpretação crítica de dados de saída e da definição adequada dos dados de entrada, entre eles: o regulamento em vigor, classe do betão, classe do aço, o diâmetro das armaduras, tipos de combinações, entre outros.

Para o corrente edifício por ter-se uma laje com dimensões em planta de 75x19m, seria ideal que tivesse ao menos duas juntas de dilatação na direção de maior vão.

## CAPÍTULO V: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACI Committee 347. Guide to formwork for concrete, 2001
2. Carlito Calil Júnior, Fernando Okimoto, Guilherme Corrêa Stamato, Giani Pfister. Cofragem de madeira para betão armado. Universidade federal de são Carlos, 1998.
3. DIN 18218, —Frishbeton auf Lotrechte Pressure of Concrete on Vertical Formworkll, Berlin; 1980.
4. Freitas, A. (2004). Situações críticas no projeto de edifícios de betão armado submetido a ações de construções. São Carlos, 2004. Dissertação (mestrado) – escola de engenharia de São Carlos, universidade de São Paulo, 2004.
5. NBR 14931:2004. Execução de estruturas de betão armado. Norma brasileira.
6. NBR 6118: 2007. Projeto de estruturas de betão armado - procedimento. Norma brasileira.
7. Paulo Nobuyoshi Assahi, sistema de fôrma para estrutura de betão, 2005.
8. <https://www.rfi.fr/pt/mocambique/20151026-mocambique-ma-montagem-de-andaimes-na-origem-de-acidente> Acessado em junho de 2021
9. Regulamento de estruturas de betão armado e pré-esforçado, aprovado pelo decreto-lei n.º235/83, de 31 de maio.
10. HADIPRIONO, F. C., WANG, H.K. (1986). Analysis of causes of Falsework Failures in concrete Structures. Journal of Engineering and Management, ASCE.
11. <https://cartamz.com/index.php/sociedade/item/3471-queda-da-laje-em-maputo-autoridades-nao-fiscalizaram-a-obra> Acessado em junho de 2021
12. Sá Correia, Joana Inês ribeiro. Dimensionamento de cofragens para estruturas de betão armado, 2008.
13. Daniel Baloi. Tecnologia de construção, DECI (2017)