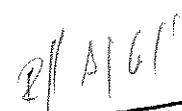


# **RELATÓRIO DE PROJETO: PASSARELA DE PEDESTRES SOBRE A DUPLICAÇÃO DA PISTA AL-110 ARAPIRACA/SÃO SEBASTIÃO**

**CLEINTE:** SECRETARIA DE ESTADO DE TRANSPORTE E  
DESENVOLVIMENTO URBANO – SETRAND

**AUTOR:** Engº. Rafael Araújo Guillou

  
**Rafael Araújo Guillou**  
Engº Civil - CREA 021081852-2

**Maceió - AL**

# Sumário



1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	4
1.1	DESCRIÇÃO E IDENTIFICAÇÃO .....	4
1.2	JUSTIFICATIVA .....	5
1.3	A OBRA .....	5
1.4	RESPONSÁVEL TÉCNICO.....	5
1.5	ETAPAS DO SERVIÇO .....	6
1.6	REFERÊNCIAS .....	6
1.6.1	NORMAS TÉCNICAS .....	6
1.6.2	MANUAIS E INSTRUÇÕES TÉCNICAS.....	7
1.6.3	LIVROS.....	7
2.	ETAPA 1 .....	7
2.1	ESTUDOS TOPOGRÁFICO .....	7
2.2	ESTUDOS GEOTÉCNICOS .....	7
2.3	CONCEPÇÃO DE PROJETO.....	8
2.3.1	TIPO DE PASSARELA.....	8
2.3.2	GABARITO .....	8
2.3.3	LARGURA DO TABULEIRO .....	9
2.3.4	ACESSO À PASSARELA.....	9
2.3.5	TIPO DE ESTRUTURA .....	10
2.3.6	TIPO DE FUNDAÇÃO.....	12
2.3.7	ELEMENTOS DE PROTEÇÃO AO PEDESTRE .....	12
3.	ETAPA 2 – PROJETO BÁSICO .....	12
3.1	PROPRIEDADE DOS MATERIAIS .....	12
3.1.1	CONCRETO .....	12

*Rf 011*

3.1.2	AÇO.....	14
3.2	CARGAS ATUANTES.....	15
3.2.1	PESO-PRÓPRIO.....	15
3.2.2	CARGA ACIDENTAL.....	15
3.2.3	GUARDA CORPO.....	15
3.2.4	VENTO.....	15
3.2.5	CARGA HORIZONTAL EXCEPCIONAL.....	16
<p>Conforme a NBR7188:2013, deve ser considerada uma carga excepcional pontual no ponto mais desfavorável da estrutura com intensidade de 10,0 tonf horizontalmente na passarela, para simular uma colisão. ....</p>		
3.3	MODELOS ESTRUTURAIS.....	16
3.4	PRÉ-DIMENSIONAMENTO.....	17
4.	ETAPA 3 – PROJETO EXECUTIVO.....	17
4.1	COMBINAÇÕES DE CARREGAMENTOS.....	17
4.1.1	COMBINAÇÃO ÚLTIMA DE AÇÕES.....	18
4.1.2	COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO DAS COMBINAÇÕES ÚLTIMAS NORMAIS.....	18
4.1.3	FATORES DE COMBINAÇÃO.....	19
4.1.4	COMBINAÇÃO DE UTILIZAÇÃO.....	19
4.2	DIMENSIONAMENTO DAS SAPATAS.....	20
4.2.1	RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO DA SAPATA S9.....	20
4.3	DIMENSIONAMENTO DOS PILARES.....	23
4.3.1	RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO DO PILAR P9.....	23
4.4	DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS/LAJES.....	24
4.4.1	RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO DA LAJE DE TRAVESSIA PARA UTILIZAÇÃO FINAL.....	24
4.4.2	RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO DA LAJE DE TRAVESSIA PARA IÇAMENTO.....	25



RFF

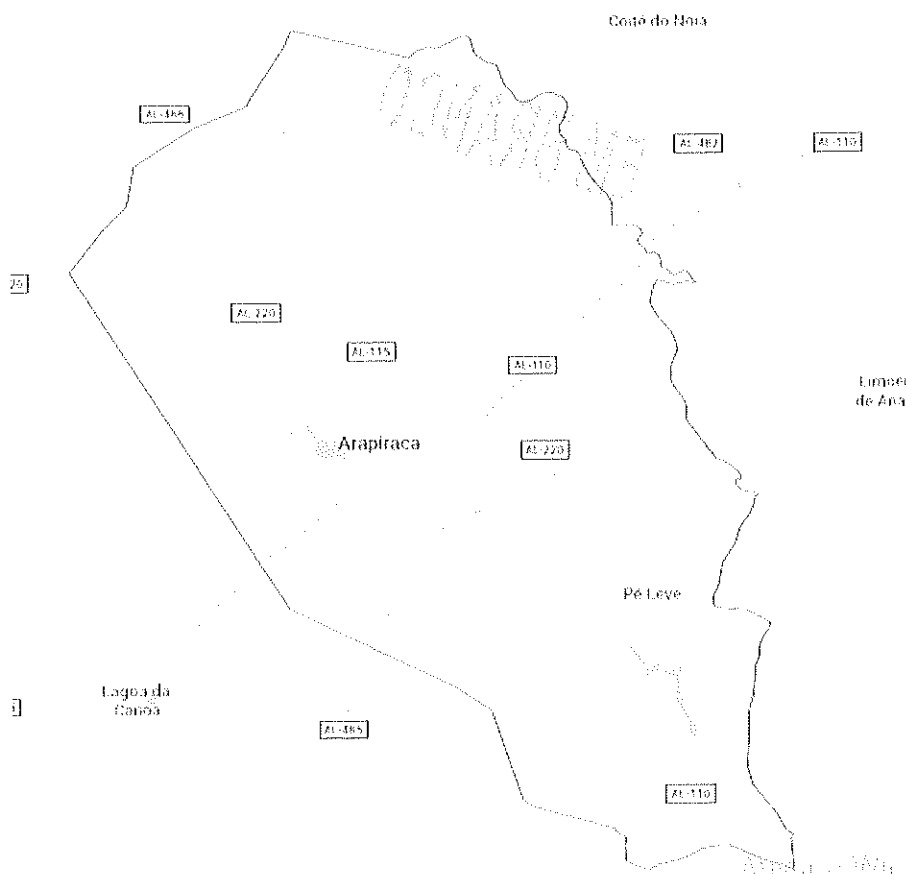


## 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O município de Arapiraca-AL, que vem crescendo acima da média alagoana nas últimas décadas, é considerado hoje o centro comercial e industrial da região agreste. Beneficiado também pela localização geográfica, na região central do estado, é ponto de partida, passagem ou chegada de veículos de passeio ou de carga.

Fazendo fronteira com outros oito municípios, Arapiraca é cruzada por quatro rodovias estaduais, sendo elas: AL-110, AL-115, AL-220 e AL-485. Com tráfego intenso, algumas destas já tem projeto em andamento para duplicação. Na Figura 1 ilustram-se esses cruzamentos.

Figura 1: Região de Arapiraca e cruzamentos das rodovias.



### 1.1 DESCRIÇÃO E IDENTIFICAÇÃO

A rodovia AL-110 que cruza o município de Arapiraca, para sudeste, segue em direção ao município de São Sebastião, e para Nordeste, ao município de Taquarana. Dentro da

**ZETA ENGENHARIA**

Av. Fernandes Lima, 1513, Pinheiro, Maceió – AL, CEP: 57057-450  
Tel : (0xx82) 99920-8877, CNPJ: 22.896.473/0001-51

região urbana de Arapiraca esta rodovia também é identificada como Rod. Dr. Geraldo Cavalcante Cajueiro, é totalmente revestida com pavimento asfáltico e tangencia os bairros Canafistula, Boa Vista, Nova Esperança, Brasília e Itapoã.

Servindo de divisa entre os bairros Canafistula e Boa Vista, aproximadamente no quilômetro sessenta e seis (Km 66), esta rodovia é envolta por diversos imóveis residenciais, comerciais e até industriais, tornando o tráfego de pedestres intenso.

Como esta via serve de escoamento de veículos de carga e de passeio com tráfego de alta intensidade, será objeto de duplicação, para otimizar o fluxo e desenvolver ainda mais a região.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

Por um lado, é uma incoerência investir recursos financeiros para duplicar uma via, com o intuito de melhorar o fluxo de veículos, e ao mesmo passo, inserir faixas de pedestres e semáforos nela. Por outro lado, a livre circulação com segurança é direito dos pedestres, inclusive no cruzamento das vias.

Neste cenário justifica-se a realização de uma obra que venha a atender ambos os lados de modo a garantir a segurança dos pedestres, dos condutores e dos passageiros e o desenvolvimento urbanístico e econômico da região.

## **1.3 A OBRA**

Para garantir a livre circulação de pedestres com segurança e não prejudicar o fluxo de veículos na rodovia, decidiu-se por executar uma passarela elevada a céu aberto nesta região.

Tal passarela deverá cruzar toda a rodovia que virá a ser duplicada, e considerando duas faixas de acostamento, quatro faixas de circulação, além do canteiro central, a passarela deverá ter um comprimento total de aproximadamente 28,0 metros.

O fluxo estimado é de 50 pedestres por minuto nesta passarela.

## **1.4 RESPONSÁVEL TÉCNICO**

A autoria dos estudos iniciais e do projeto é da empresa Guillou Projetos EIRELI inscrito no CNPJ de nº 22.896.473/0001-51, e o responsável técnico é Rafael Araújo Guillou,

Rafael

**ZETA ENGENHARIA**

Av. Fernandes Lima, 1513, Pinheiro, Maceió – AL, CEP: 57057-450  
Tel : (0xx82) 99920-8877, CNPJ: 22.896.473/0001-51

inscrito no CPF de nº 057.301.014-57, engenheiro civil com registro nacional no CREA de nº 021081852-2.

## **1.5 ETAPAS DO SERVIÇO**

O serviço será desenvolvido em três etapas. A primeira etapa refere-se ao desenvolvimento de estudos topográficos, geotécnicos e concepção do projeto. Já na segunda e terceira etapa, desenvolver-se-ão os projetos básico e executivo respectivamente.

## **1.6 REFERÊNCIAS**

### **1.6.1 NORMAS TÉCNICAS**

- NBR 8681. Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- NBR 7188. Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestres. Rio de Janeiro, 1984.
- NBR 7189. Cargas móveis em projeto estrutural de obras ferroviárias. Rio de Janeiro, 1985.
- NBR 7480. Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado. Rio de Janeiro, 1996.
- NBR 7481. Telas de aço soldadas para armadura de concreto. Rio de Janeiro, 1990.
- NBR 7482. Fios de aço para concreto protendido. Rio de Janeiro, 1991.
- NBR 7483. Cordoalhas de aço para concreto protendido – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- NBR 9062. Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado. Rio de Janeiro, 2006.
- NBR 6122. Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.
- NBR 9050. Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2004.
- NBR 6484. Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2001.
- NBR 13133. Execução de levantamento topográfico, Rio de Janeiro, 1994.



RH/6/11

**ZETA ENGENHARIA**

Av. Fernandes Lima, 1513, Pinheiro, Maceió – AL, CEP: 57057-450  
Tel : (0xx82) 99920-8877, CNPJ: 22.896.473/0001-51

### 1.6.2 MANUAIS E INSTRUÇÕES TÉCNICAS

- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. DE 99/OAE001 – Projeto de Obra de Arte. São Paulo, 1999.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. DE-C00/004 – Projeto de Passarela de Pedestres. São Paulo, 2009.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. ISF-219 - Projeto de Passarela de Pedestres. Brasília, 2015.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Manual de Projeto de Obras-de-Arte Especiais. Brasília, 1996.

### 1.6.3 LIVROS

- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1987-1988. 4 v.
- LEONARDS, Gerald Allen. **Foundation engineering**. New York: McGraw - Hill, 1962. 1136 p. (McGraw - Hill Civil Engineering Series).
- LEONHARDT, Fritz. **Brücken Bridges**. Stuttgart, 1982. 305 p.
- OLIVEIRA FILHO, Ubirajara Marques de. **Fundações profundas**. Porto Alegre, 1985. 267 p.
- WADDELL, Joseph J. **Concrete construction handbook**. New York: McGraw-Hill, 1974. 978 p.

## 2. ETAPA 1

### 2.1 ESTUDOS TOPOGRÁFICO

O estudo topográfico foi realizado a partir do levantamento planialtimétrico desenvolvido na região a ser construída a passarela. Este levantamento está em anexo, na prancha de nomenclatura: PPA-TOP-E-001-LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO-R00.

### 2.2 ESTUDOS GEOTÉCNICOS

O estudo geotécnico foi realizado a partir de um ensaio do tipo SPT na região a ser construída a passarela. O relatório do ensaio está em anexo, identificado como: R 25/18.

Rf/6/11

## 2.3 CONCEPÇÃO DE PROJETO

### 2.3.1 TIPO DE PASSARELA

A passarela será do tipo sobrejacente (elevada) ao céu aberto, ou seja, sem coberta. A adoção desse tipo de passarela se dá pela economia tanto de execução quanto de manutenção da obra de arte, assim como, pela segurança dos cidadãos, quando em termos de violência urbana.

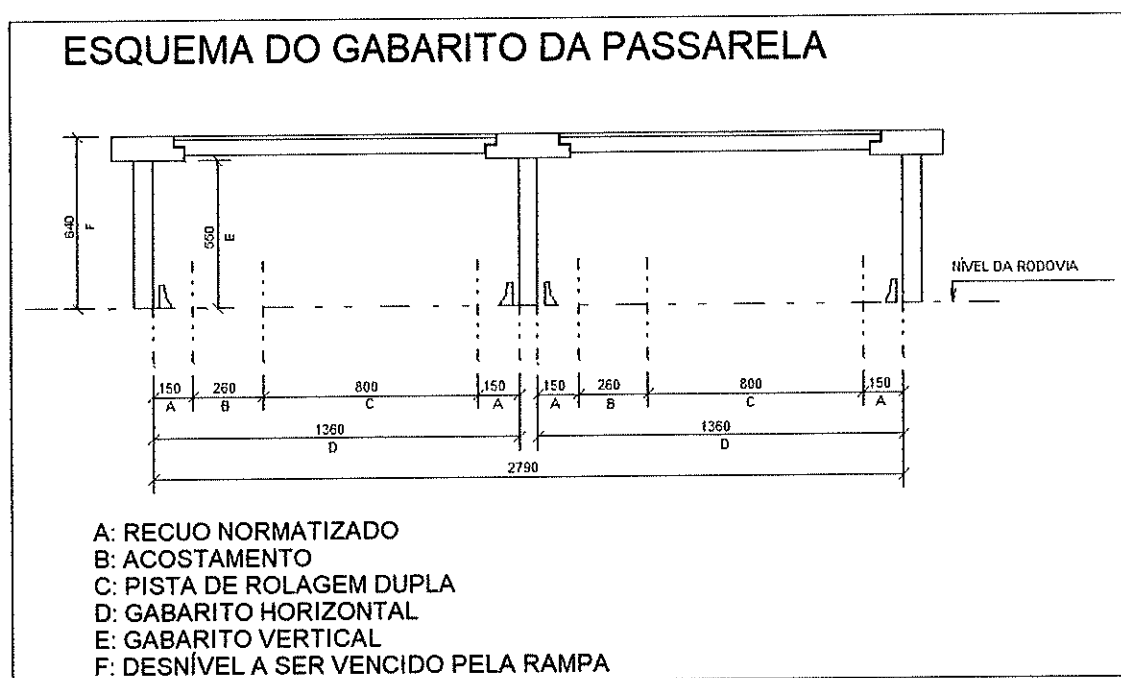
### 2.3.2 GABARITO

Considerando o acostamento, recuos normativos e pista de rolagem dupla, a extensão total da passarela é de aproximadamente 28,0m. Tal extensão pode ser dividida, considerando a possibilidade de adição de um apoio no canteiro central da rodovia. Dessa maneira, o gabarito horizontal adotado é de aproximadamente 14,0 metros.

O gabarito vertical adotado é de 5,5 metros, seguindo os gabaritos das demais obras de arte do município de Arapiraca, como outras passarelas e viadutos. Assim, com o gabarito padronizado, o fluxo de veículos se torna mais previsível.

A Figura 2 ilustra um esquema com os gabaritos horizontal e vertical.

Figura 2: Esquema dos gabaritos (medidas em cm).

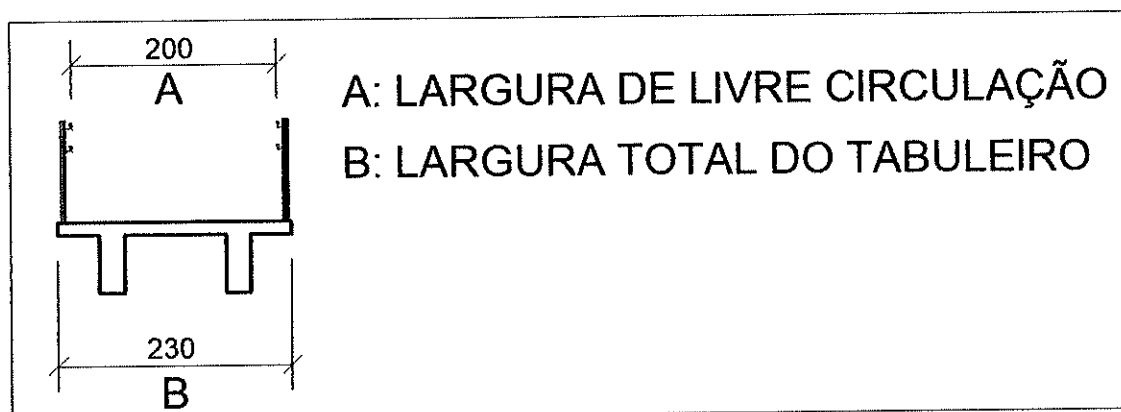




### 2.3.3 LARGURA DO TABULEIRO

A largura da passarela foi dimensionada de acordo com o item 6.10.8 da NBR 9050:2004. Considerando o fluxo de 50 pedestre por minuto, e um somatório de impedâncias nulo, a largura encontrada é igual a 2,0 metros. Como ainda deve ter espaço para posicionar os guarda-corpos e corrimão, a largura total adotada para o tabuleiro é de 2,3m. A Figura 3 ilustra a seção transversal do tabuleiro e as larguras.

Figura 3: Seção transversal do tabuleiro (medidas em cm).



### 2.3.4 ACESSO À PASSARELA

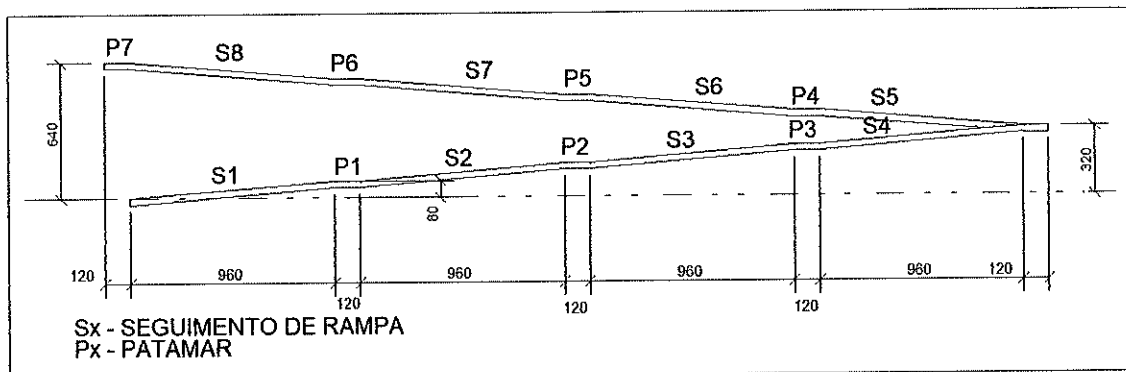
O acesso à passarela será por meio de rampas, sendo necessário vencer um desnível de 6,4 metros como ilustrado na Figura 2.

Segundo o item 6.5.1.2 da NBR 9050:2004, a inclinação máxima de uma rampa é de 8,33%. Utilizando tal inclinação, para vencer os 6,4 metros de altura, serão necessários 76,8 metros de comprimento de rampa em projeção horizontal.

Para essa inclinação adotada, só é possível vencer 0,8 metros a cada seguimento de rampa, sendo necessário patamares planos entre seguimentos. Nesse caso, são adotados oito seguimentos de rampa com 9,6 metros de comprimento e vencendo desníveis de 0,8 metros cada. O comprimento adotado para o patamar horizontal é de 1,2 metros. A largura da rampa de acesso é igual a largura da própria passarela, já que o fluxo de pedestres é o mesmo.

Como a extensão total da rampa é grande, será adotada uma mudança de sentido na metade do comprimento. A Figura 4 ilustra o esquema adotado para a rampa.

Figura 4: Esquema da rampa (medidas em cm)



### 2.3.5 TIPO DE ESTRUTURA

Considerando todos aspectos acima dispostos, o tipo de estrutura idealizado é em concreto armado, sendo os pilares e consolos moldados “in loco”, e os tabuleiros pré-moldados.

Torna-se preferencial a escolha da estrutura em concreto armado, devido principalmente ao menor custo de execução e de manutenção, lembrando que as intervenções que devem ser feitas em estruturas metálicas, por exemplo, ao longo da vida útil da obra, são bem mais frequentes do que aquelas necessárias para estruturas de concreto.

Além disso, neste projeto são adotados parâmetros mais conservadores, para garantir que a vida útil dessa obra de arte seja maior do que edificações comuns, por exemplo: O cobrimento das armaduras utilizado será maior do que o mínimo necessário; A tensão resistente de compressão do concreto será maior que o mínimo necessário, diminuindo a porosidade e aumentando a vida útil. Tais considerações, leva a vida útil da estrutura para 75 anos, caso realizadas as manutenções corretamente.

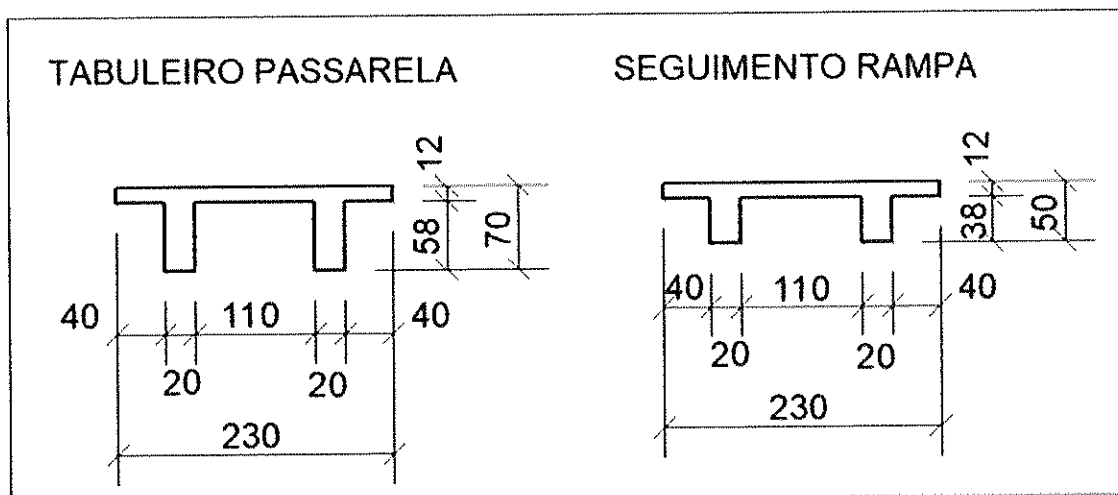
A estrutura dos tabuleiros será pré-moldada devido a impossibilidade de se bloquear a rodovia por longo período de tempo. Nesse caso, os tabuleiros pré-moldados garantirão que o tempo de interdição das vias sejam mínimas, sendo possível a montagem dos tabuleiros da passarela em um ou dois dias.

Os vãos que se apresentam na estrutura permitem a utilização da estrutura em concreto armado convencional, utilizando seções transversais comuns no mercado de pré-moldados. A escolha adotada foi de uma seção transversal em formato “PI” tanto para o tabuleiro quanto para os seguimentos da rampa. Como os vãos a serem vencidos são diferentes, a dimensão das peças também foi diferente. A Figura 5 ilustra as seções transversais adotadas.

**ZETA ENGENHARIA**

Av. Fernandes Lima, 1513, Pinheiro, Maceió – AL, CEP: 57057-450  
Tel : (0xx82) 99920-8877, CNPJ: 22.896.473/0001-51

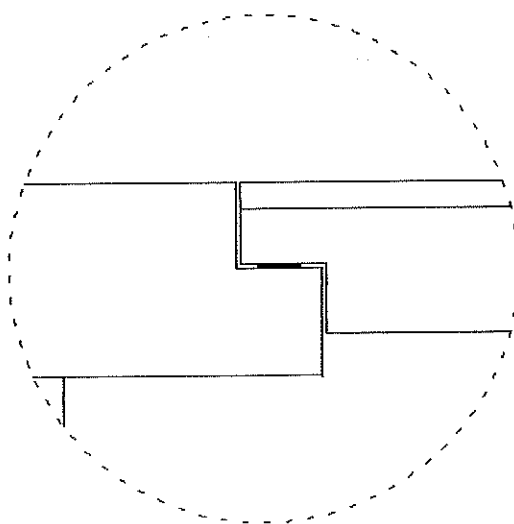
Figura 5: Seções transversais dos elementos pré-moldados (medidas em cm)



Os elementos estruturais dos tabuleiros e dos seguimentos de rampa com estas dimensões, pesam aproximadamente 17,0 tonf e 11,0 tonf, respectivamente. Guindastes usuais conseguem içar tal carga, o que viabiliza a montagem sem custos excessivos.

Para garantir as alturas do gabarito, os tabuleiros deverão ser conectados aos pilares, utilizando-se ligações com Dentes Gerber, como ilustrado na Figura 6.

Figura 6: Ligação com dente Gerber.



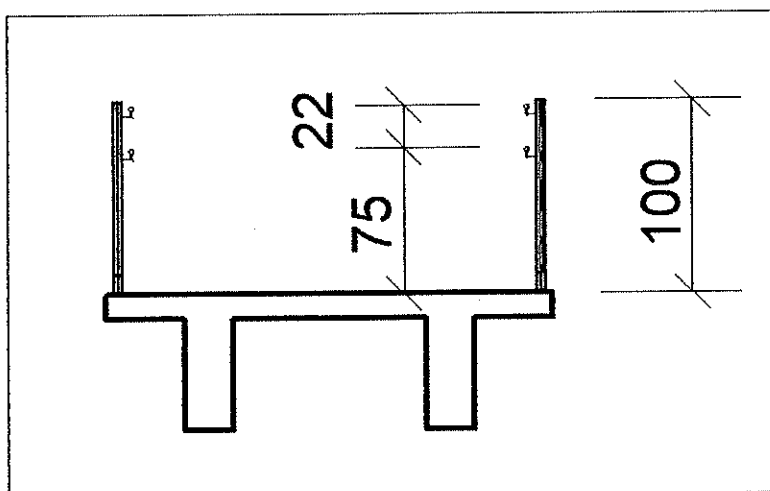
### 2.3.6 TIPO DE FUNDAÇÃO

A partir do ensaio SPT, adotou-se a solução em fundações rasas com sapatas isoladas. Apesar do solo ter três metros de solo pouco compacto, o recalque não ultrapassará 2,5cm, valor recomendado pela bibliografia.

### 2.3.7 ELEMENTOS DE PROTEÇÃO AO PEDESTRE

Por toda extensão da passarela e das rampas de acesso, existirão guarda-corpos nas bodas além de corrimãos, ambos de aço estrutural e chumbados no elemento de concreto, como ilustrado na Figura 7.

Figura 7: Elementos de proteção (medidas em cm)



## 3. ETAPA 2 – PROJETO BÁSICO

Nesta etapa foram definidas todas as dimensões dos elementos estruturais, executando-se um pré-dimensionamento, baseado nas deformadas dos elementos estruturais.

Para tal, torna-se necessário a definição das propriedades dos materiais da obra.

### 3.1 PROPRIEDADE DOS MATERIAIS

#### 3.1.1 CONCRETO

Adotou-se uma resistência à compressão característica de 40MPa, para garantir que as peças pré-moldadas estejam aptas a serem içadas em pouco tempo e para melhorar a

**ZETA ENGENHARIA**

Av. Fernandes Lima, 1513, Pinheiro, Maceió – AL, CEP: 57057-450  
Tel : (0xx82) 99920-8877, CNPJ: 22.896.473/0001-51

durabilidade da estrutura, já que se trata de uma obra pública de interesse social. Nesse contexto, as demais propriedades do concreto, foram estimadas a partir da resistência a compressão característica, como indica a figura abaixo.



Figura 8 – propriedades do concreto

**Resistência à Compressão Característica do Concreto**

$$f_{ck} := 40 \text{ MPa}$$

**Coefficiente Ponderador da resistência do Concreto**

$$\gamma_c := 1.4$$

**Resistência à compressão de cálculo do concreto**

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 28.571 \text{ MPa}$$

**Resistência à tração média do concreto**

$$f_{ctm} := 0.3 \cdot \left( \frac{f_{ck}}{1 \text{ MPa}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \text{MPa} = 3.509 \text{ MPa}$$

**Resistência à tração característica superior do concreto**

$$f_{ctk \text{ sup}} := 1.3 f_{ctm} = 4.561 \text{ MPa}$$

**Resistência à tração característica inferior do concreto**

$$f_{ctk \text{ inf}} := 0.7 f_{ctm} = 2.456 \text{ MPa}$$

**Resistência à tração de cálculo do concreto**

$$f_{ctd} := \frac{f_{ctk \text{ inf}}}{\gamma_c} = 1.754 \text{ MPa}$$

**Módulo de Elasticidade Tangente do Concreto**

$$E_{ct} := 5600 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{1 \text{ MPa}}} \cdot 1 \text{ MPa} = 35417.51 \text{ MPa}$$

**Módulo de Elasticidade Secante do Concreto**

$$E_{cs} := 0.85 E_{ct} = 30104.883 \text{ MPa}$$

Ainda para garantir uma durabilidade maior, adotou-se um cobrimento de armaduras, superior ao mínimo, como ilustra a figura abaixo.

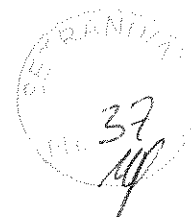
RH/11

**ZETA ENGENHARIA**

Av. Fernandes Lima, 1513, Pinheiro, Maceió – AL, CEP: 57057-450  
Tel : (0xx82) 99920-8877, CNPJ: 22.896.473/0001-51

Figura 9 - Cobrimentos das armaduras adotados

TAMPA PRÉ-MOLDADA DOS CONSOLOS		2.0 cm
CONSOLOS		4.0 cm
LAJES DA TRAVESSIA E RAMPAS	MESA	3.0 cm
	ALMA	4.0 cm
PILARES		4.0 cm
SAPATAS		5.0 cm



### 3.1.2 AÇO

O aço utilizado para o dimensionamento da estrutura foi do tipo CA-50A, em forma de vergalhões nervurados. As propriedades mecânicas desse tipo de aço estão ilustradas na figura abaixo.

Figura 10 - Propriedades do aço CA-50

**Tensão de Escoamento Característica do Aço**

$$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$$

**Coefficiente Ponderador da resistência do Aço**

$$\gamma_s := 1.15$$

**Tensão de Escoamento de cálculo do Aço**

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \text{ MPa}$$

**Módulo de Elasticidade do Aço**

$$Es := 210000 \text{ MPa}$$

Mas para procedimentos construtivos e ligações das peças pré-moldadas, utilizou-se o aço do tipo CA-25, em forma de vergalhões lisos, devido a sua melhor ductilidade. A figura abaixo ilustra as propriedades desse tipo de aço.

*Handwritten signature/initials*

**ZETA ENGENHARIA**

Av. Fernandes Lima, 1513, Pinheiro, Maceió – AL, CEP: 57057-450  
Tel : (0xx82) 99920-8877, CNPJ: 22.896.473/0001-51

Figura 11 - Propriedades do aço CA-25

**Tensão de Escoamento Característica do Aço**

$$f_{yk} := 250 \text{ MPa}$$

**Coefficiente Ponderador da resistência do Aço**

$$\gamma_s := 1.15$$

**Tensão de Escoamento de cálculo do Aço**

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 217.391 \text{ MPa}$$

**Módulo de Elasticidade do Aço**

$$Es := 210000 \text{ MPa}$$

## 3.2 CARGAS ATUANTES

### 3.2.1 PESO-PRÓPRIO

O peso específico do concreto armado foi adotado como 2,5 ton/m³. Toda a carga de peso-próprio da estrutura é calculada automaticamente pelo software utilizado.

### 3.2.2 CARGA ACIDENTAL

A carga accidental de utilização da passarela foi adotada como 500kgf/m², assim como indica a NBR 7188:2013.

### 3.2.3 GUARDA CORPO

Nas bordas, onde localizam-se o guarda-corpo, admitiu-se uma carga linear de 200kgf/m, assim como sugere a NBR 7188:2013.

### 3.2.4 VENTO

O carregamento de vento é desprezível para esta estrutura. Mesmo assim foi considerando, aplicando transversalmente à passarela, uma carga de pressão baseada nos fatores abaixo:

- $V_o = 30 \text{ m/s}$
- $S1 = 1.00$  Caso 1
- $S2 = 1.00$
- $S3 = 1.10$  Grupo 1
- $P_{din} = 80 \text{ kgf/m}^2$

### 3.2.5 CARGA HORIZONTAL EXCEPCIONAL

Conforme a NBR7188:2013, deve ser considerada uma carga excepcional pontual no ponto mais desfavorável da estrutura com intensidade de 10,0 tonf horizontalmente na passarela, para simular uma colisão.

Assim foi feito no projeto, considerando diversos pontos de aplicação dessa carga, obviamente, sem serem concomitantes.

### 3.3 MODELOS ESTRUTURAIS

Para a análise estrutural, foram utilizados os softwares TQS/CAD e o FTOOL. Já para o dimensionamento e detalhamento, foi utilizado o software TQS/CAD. Os modelos matemáticos adotados foram de estruturas reticuladas, em barras, sendo um pórtico tridimensional no TQS/CAD e pórticos planos no FTOOL, assim como ilustra as figura abaixo.

Figura 12 - Modelo pórtico espacial (TQS/CAD)

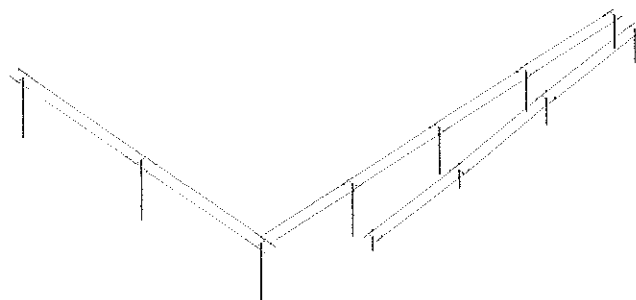
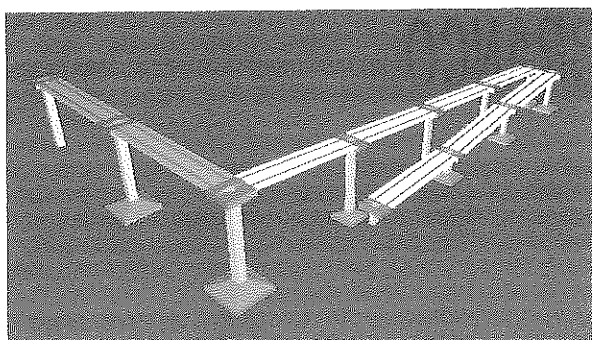
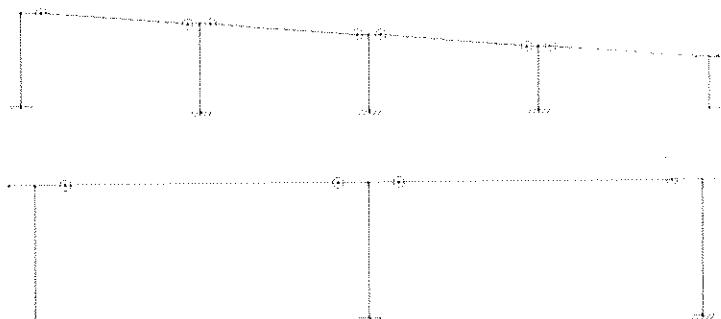


Figura 13 - Pórticos planos (FTOOL)

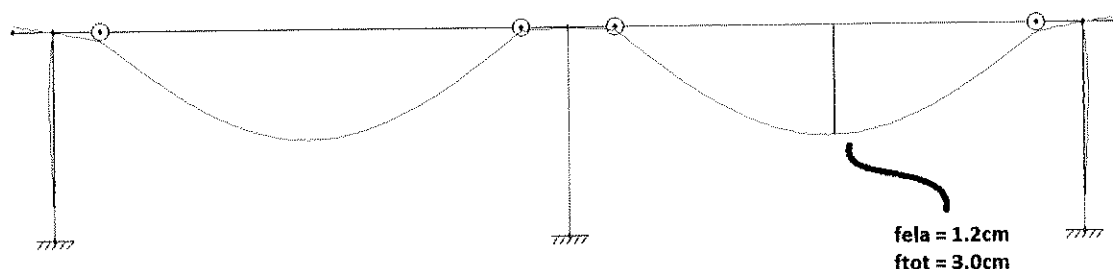




### 3.4 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Para o pré-dimensionamento, levou-se em consideração o estado limite de serviço de deformação excessiva, ELS-DEF. No pior caso, a flecha elástica apresentada nos modelos estruturais não passou de 1,2cm. Estimando a flecha total, considerando a flecha diferida no tempo, a flecha máxima seria de 3,0cm. A figura abaixo ilustra a situação.

Figura 14 - Flecha máxima no meio do tabuleiro da passarela



A flecha limite, segunda a NBR 6118:2014 é calculada como sendo o comprimento do vão dividido por 250 ( $L/250$ ). Como o vão é de aproximadamente 12m, a flecha limite seria de 4,8cm. Sendo assim, está dentro do estado limite de serviço.

## 4. ETAPA 3 – PROJETO EXECUTIVO

Nesta etapa, são dimensionados todos os elementos estruturais, tanto no Estado Limite Último como nos Estados Limites de Serviço. Para tal, foram feitas as combinações de ações conforme indicado a seguir.

### 4.1 COMBINAÇÕES DE CARREGAMENTOS

Um conjunto de ações atuando sobre uma estrutura, em geral, tem probabilidade não desprezível de atuarem simultaneamente, durante o período de sua vida útil.

A fim de que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura, aquelas ações devem ser combinadas corretamente.

Segundo a NBR 8681, consideram-se, para as combinações últimas, os seguintes critérios:

RH/6/11

a) Ações permanentes

Devem figurar em todas as combinações

b) Ações variáveis

Em cada combinação última, uma das ações variáveis é considerada como a principal, admitindo-se que ela atue com seu valor característico  $F_k$ ; as demais ações variáveis são consideradas como secundárias, admitindo-se que elas atuam com seus valores reduzidos de combinação  $\Psi \cdot F_k$ .

A verificação da segurança é feita considerando-se as seguintes combinações:

- Estado limite último (ELU): Combinações últimas das ações
- Estado limite de utilização: Combinações de utilização

#### 4.1.1 COMBINAÇÃO ÚLTIMA DE AÇÕES

Para as combinações últimas normais, o valor de cálculo vale:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} \cdot F_{Gi,k} + \gamma_q (F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} \cdot F_{Qj,k})$$

onde,

$F_{Gi,k}$  = valores característicos das ações permanentes.

$F_{Q1,k}$  = valor característico da ação variável admitida como principal.

$\psi_{0j} \cdot F_{Qj,k}$  = valor reduzido de combinação de cada uma das demais ações variáveis  $\gamma_{gi}$ ,

$\gamma_q$  = coeficientes de ponderação, respectivamente, das ações permanentes e das ações variáveis.

#### 4.1.2 COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO DAS COMBINAÇÕES ÚLTIMAS NORMAIS

a) Para as ações permanentes formadas pelos pesos próprios

- Peso da estrutura < 75% do peso total permanente
  - $\gamma_g = 1,4$  para efeitos desfavoráveis
  - $\gamma_g = 0,9$  para efeitos favoráveis
- Peso da estrutura > 75% do peso total permanente
  - $\gamma_g = 1,3$  para efeitos desfavoráveis

42  
MP

- o  $\gamma_g = 1,0$  para efeitos favoráveis 28
- b) Para as ações permanentes formadas pelas deformações impostas
  - $\gamma_g = 1,2$  para efeitos desfavoráveis
  - $\gamma_g = 1,0$  para efeitos favoráveis
- c) Para as ações variáveis
  - Cargas móveis:  $\gamma_q = 1,4$
  - Efeitos de temperatura:  $\gamma_g = 1,20$

#### 4.1.3 FATORES DE COMBINAÇÃO

- Pontes de pedestres:  $\psi_o = 0,4$
- Pontes rodoviárias:  $\psi_o = 0,6$
- Pontes ferroviárias:  $\psi_o = 0,8$

OBS.: Nos casos particulares de combinações últimas excepcionais, especiais ou de construção, a norma NBR 8681 fornece outros valores.

#### 4.1.4 COMBINAÇÃO DE UTILIZAÇÃO

Nestas combinações não se consideram os coeficientes de majoração  $\gamma_g$ ,  $\gamma_q$  e  $\gamma_e$ , retratando-se, com estas providências, as condições reais de utilização da obra.

Os itens 1.1 e 1.2 do anexo da NBR 6118 estabelecem uma combinação de utilização para cada verificação do estado limite de utilização, tais como:

- a) Para verificação do estado limite de fissuração (abertura de fissuras) - Combinação frequente de utilização.

$$F_{d,ufi} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$$

- b) Para verificação de estado limite de formação de fissuras - Combinação rara de utilização.

$$F_{d,ufi} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$$

- c) Para verificação de estado limite de deformação excessiva (flecha) - Combinação quase permanente de utilização.

R1/6/11

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$$



Em que:

- Pontes de pedestres:  $\Psi_1 = 0,3$  e  $\Psi_2 = 0,2$
- Pontes rodoviárias:  $\Psi_1 = 0,4$  e  $\Psi_2 = 0,2$
- Pontes ferroviárias:  $\Psi_1 = 0,6$  e  $\Psi_2 = 0,4$

OBS.: Os fatores de combinação  $\Psi_0$ ,  $\Psi_1$  e  $\Psi_2$  levam em conta que é muito baixa a probabilidade de ocorrência simultânea dos valores característicos de duas ou mais ações variáveis de natureza diferentes.

## 4.2 DIMENSIONAMENTO DAS SAPATAS

Admitiu-se, a partir das sondagens do solo (SPT), que a tensão admissível do solo é igual a 1,4 kgf/cm<sup>2</sup>, a partir das equações de Therzaghi para um recalque máximo de 2,5cm.

Baseado nessa resistência, verificou-se a capacidade de carga das fundações, determinando suas dimensões. Verificou-se a tensão admissível do solo, tombamento e escorregamento da sapata, além da verificação da capacidade do concreto resistir à compressão e a quantidade de aço necessária para resistir à tração. Abaixo está o relatório de dimensionamento da sapata mais carregada.

### 4.2.1 RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO DA SAPATA S9

#### LEGENDA

##### GEOMETRIA

- Xpil, Ypil: dimensões em X e Y  
ColarX, Colar Y: larguras do colar em X e Y  
Xsap, Ysap: dimensões em X e Y  
H0x, H0y: altura do rodapé em X e Y  
ExcX, ExcY: excentricidade em X e Y em relação ao CG

do pilar

##### CARREGAMENTO

- Caso: caso de carregamento da sapata onde a situação de esforço ocorre  
Comb: combinação do pórtico onde a situação de esforço ocorre  
Fzmin, Fzmax: situação de força vertical mínima e máxima  
Fxmin, Fxmax: situação de força horizontal em X mínima e máxima  
Fymin, Fymax: situação de força horizontal em Y mínima e máxima  
Mxmin, Mxmax: situação de momento vetorial em torno de X mínimo e máximo

*R1011*

**ZETA ENGENHARIA**

Av. Fernandes Lima, 1513, Pinheiro, Maceió - AL, CEP: 57057-450  
Tel : (0xx82) 99920-8877, CNPJ: 22.896.473/0001-51

Mymin, Mymax: situação de momento vetorial em torno de Y  
mínimo e máximo  
N: força vertical para a combinação indicada  
Mx, My: momento vetorial em torno de X e Y para a  
combinação indicada  
Fx, Fy: esforço cortante em X e Y para a combinação  
indicada

**RESULTADOS**

Comb: combinação onde o esforço ocorre. Segue numeração do  
visualizador

Msds: momento fletor de cálculo  
Tsds: tensão de cálculo atuante na biela  
Vsds: esforço cortante de cálculo  
ds: altura útil da seção S  
bs: largura da seção S  
ax: comprimento da seção ampliada  
bx: largura da seção ampliada  
Tcd: tensão de cálculo na verif. de fendilhamento

Sapata: S9 Número = 9  
Repetições: 1

**GEOMETRIA:**

Pilar:

Xpil: 70.00 Ypil: 70.00 ColarX: 5.00 ColarY: 5.00

Sapata (Dimensões fixas, cm):

Xsap: 350.00 Ysap: 350.00 Altura: 100.00

H0x: 35.00 H0y: 35.00 ExcX: .00 ExcY:

.00

Altura (Carga horiz. da fundação): 100.00

Volume: 7.69 m3

Área de Formas: 4.90 m2

Peso próprio: 19.22 tf.

Método de cálculo: Sapata Rígida

**CARREGAMENTOS:**

Nome	Caso	Comb	N	Mx	My	Fx	Fy
FzMax	1	11	50.96	.1	-.5	-.04	.00
FzMin	4	14	48.64	.1	23.6	3.24	.00
MxMax	4	14	48.64	.1	23.6	3.24	.00
MxMin	5	15	48.64	.1	-24.4	-3.32	.00
MyMin	1	11	50.96	.1	-.5	-.04	.00
FxMax	4	14	48.64	.1	23.6	3.24	.00
FxMin	5	15	48.64	.1	-24.4	-3.32	.00
Adicional	2	12	50.96	.1	18.8	2.59	.00

**RESULTADOS:**

Tombamento:

Sentido	Atuante	Caso	Limite	Aviso
X	4.3	5	1.500	
Y	-----	1	1.500	

Deslizamento:

Sentido	Atuante	Caso	Limite	Aviso
---------	---------	------	--------	-------



X	6.132	5	1.500
Y	-----	1	1.500

Fendilhamento [kgf/cm<sup>2</sup>]:

Posição	Tcd	Caso	Limite	Aviso
pilar	17.47	1	242.86	
seção X	6.05	1	57.14	

Tensões de Compressão do Solo [kgf/cm<sup>2</sup>]:

Carregamento Vertical

Tensão	Atuante	Caso	Limite	Aviso
Média	.57	1	1.40	
Máxima	.94	5	1.40	

Porcentagem de área comprimida

Mínima	Caso	Limite	Aviso
100.0	1	75.0	

Flexão [tf.m]:

Sentido	Msd	Caso
+X	44.24	4
-X	44.86	5
+Y	27.59	2
-Y	27.74	1

Compressão Diagonal [kgf/cm<sup>2</sup>, cm]:

Sentido	ds	bs	Tsd	Caso	Limite	Aviso
+X	94.0	70.0	4.99	4	64.80	
-X	94.0	70.0	5.06	5	64.80	
+Y	94.0	70.0	3.16	2	64.80	
-Y	94.0	70.0	3.17	1	64.80	

Força Cortante [tf]:

Sentido	ds	bs	Vsd	Caso	Limite	Aviso
+X	69.9	178.5	26.78	4	188.86	
-X	69.9	178.5	27.18	5	188.86	
+Y	69.9	178.5	16.11	2	188.86	
-Y	69.9	178.5	16.21	1	188.86	

VERIFICAÇÕES:

Armaduras Calculadas [tf.m, cm<sup>2</sup>]:

Armaduras igualadas pela maior.

rho(%): .282

Sentido	Msd	As,calc	As,calc,corr	Area,sec
As,min,rho	As,min,crit	As,det		
X	44.86	11.01	11.01	8000.0
22.59	1.50	22.6		
Y	27.74	6.92	6.92	8000.0
22.59	1.50	22.6		

Armaduras Detalhadas [cm<sup>2</sup>, cm]:

Sentido	As,det	As,det/m	nf	bit	esp	Observação
X	22.6	6.5	31	10.0	11.0	
Y	22.6	6.5	31	10.0	11.0	

Aderência [tf]:

*Handwritten signature*

Sentido	Vsd	Limite	Observação
X	54.3	389.2	
Y	36.5	381.0	

## 4.3 DIMENSIONAMENTO DOS PILARES

O dimensionamento dos pilares é feito considerando uma flexão composta oblíqua, o que trás a necessidade de um dimensionamento por um método iterativo. Além disso, existe o fator da instabilidade de colunas ou não linearidade geométrica local, que faz com que os momentos atuantes tendam a aumentar.

Nesse sentido, utilizou-se o método do diagrama Normal-Momento-Curvatura para o dimensionamento dos pilares, com o auxílio do software TQS/CAD. Abaixo segue o relatório de dimensionamento do pilar mais solicitado, o pilar P9.

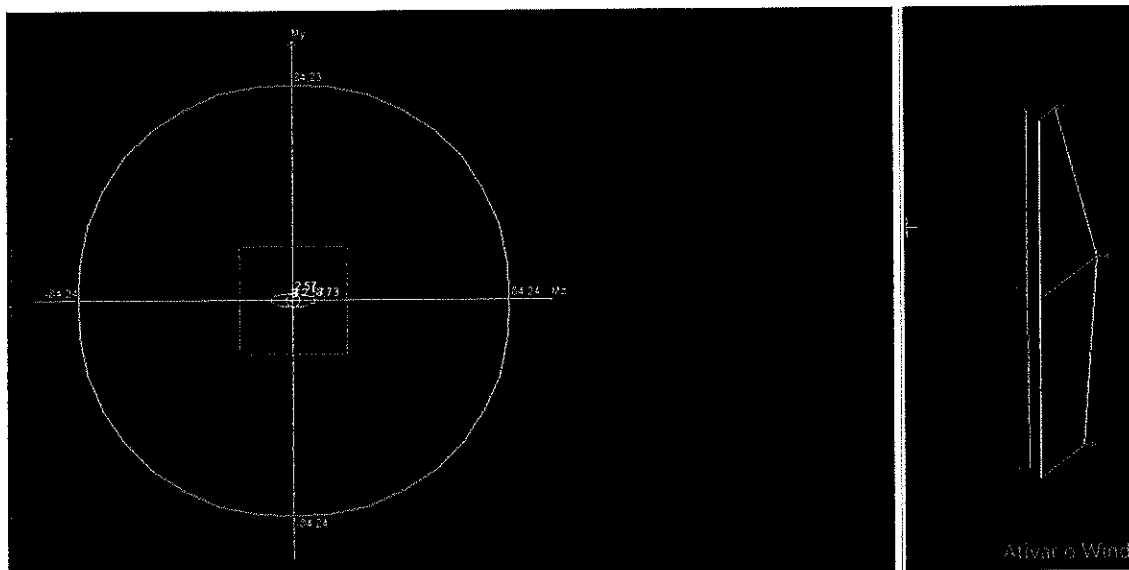
### 4.3.1 RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO DO PILAR P9

#### LEGENDA

Seção	: Dimensões da seção transversal (seção retangular)
	Nome da seção (seção qualquer)
Área	: Área de concreto da seção transversal
NFer	: Número de ferros
PDD	: Pé-Direito Duplo (direções "x" e "y")
	S: Sim N: Não
As	: Área total de armadura utilizada
Taxa	: Taxa de Armadura da seção
Estr	: Bitola do estribo
C/	: Espaçamento do estribo
fck	: fck utilizado no lance
Cobr	: Cobrimento utilizado no lance
PP	: Pilar-Parede: (S) Sim (N) Não
PP	: S' :Pilar-Parede (Sim), mas Ast não atende o item 18.5 da NBR6118:2003
T	: Tensão de Cálculo (Carga Vertical: Combinação 1 CAD/PILAR) (kgf/cm2)
Lbd	: Índice de Esbeltez (Maior Lambda)
Ni	: Força Normal Adimensional (Nsd / Ac*Fcd) (Carga Vertical: Combinação 1 CAD/PILAR)
2OrdM	: Método utilizado cálculo momento 2ªOrdem
ELOL	: Efeito Local (15.8.3)
ELZD	: Efeito Localizado (15.9.3)
KAPA	: Pilar Padrão com Rigidez Kapa Aproximada (15.8.3.3.3)
CURV	: Pilar Padrão com Curvatura Aproximada (15.8.3.3.2)
N,M,1/r	: Pilar Padrão Acoplado ao Diagrama N,M,1/r (15.8.3.3.4)
MetGerl	: Método Geral (15.8.3.2)

PILAR:P9															num: 1 Lances: 1 à 9	
Lance	Título	Seção [cm]	Área [cm2]	NFer	Bitola PDD [mm] x y	As [cm2]	Taxa [%]	Estr [mm]	C/ [cm]	PP	fck [MPa]	Cobr [cm]	T	Lbd	Ni	2OrdM
1	IMP	70.x 70.	4900.0	14	20.0 S S	44.0	.90	6.3	20.0	N	40.0	4.0	14.6	71.	.0510	ELOL KAPA

PILAR:P9												Esforço de Cálculo do Dimensionamento					
num. 1																	
LANCE	B(cm)	H(cm)	ROS	SEL	BITL	BITE	Nb	NbH	NbB	AS(cm)	RO	ASnec	LBDALM	LAMBDA	FNd (tf)	Mxd (tf,cm)	Myd (tf,cm)
					16.0	6.3	22	6	5	44.23	.9	40.72	35.0	34,4	68.1	17.1	-7245.8
1.	70.0	70.0	.9	14	20.0	6.3	14	4	3	43.98	.9	40.06			CASO PÓRTICO = 15 {COBINACÃO= S}		
					25.0	8.0	12	4	2	58.90	1.2	46.53			''VER NOTA (A)''		
VALORES CÁLCULOS DEFINIDOS ARQUIVO CRITÉRIOS																	
Cobrimento[cm] fck[MPa] GamaAço GamaConcreto AsMax[%] AsMin[%] GmapN GmapM GmapV Gmapm																	
	4.0				40.0	1.15				1.40		.40	1.40	1.40	1.40	1.40	
TipoAço ClasseAço ExclMin ExclMax K12 K37																	
50	A		2.0		15.0		1		1								
Fundacao																	



#### 4.4 DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS/LAJES

As lajes pré-moldadas do tipo PI, utilizadas no projeto tanto para as rampas como para as lajes de travessias, tem suas “almas” dimensionadas como vigas e sua “mesa” dimensionada como lajes.

O dimensionamento da mesa como laje, requer pouca atenção desse relatório, pois devido aos pequenos vãos, a armadura acaba sendo a mínima de norma. Já as almas são dimensionadas como vigas. Nesse caso, como a laje PI tem duas almas, os esforços devem ser divididos entre as duas.

Importante ressaltar que o dimensionamento à flexão simples e esforço cortante das almas da laje PI, foram feitos para duas situações. A primeira, durante o içamento e a segunda durante sua utilização.

##### 4.4.1 RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO DA LAJE DE TRAVESSIA PARA UTILIZAÇÃO FINAL

Figura 15 - Momento fletor solicitante característico (kN.m)

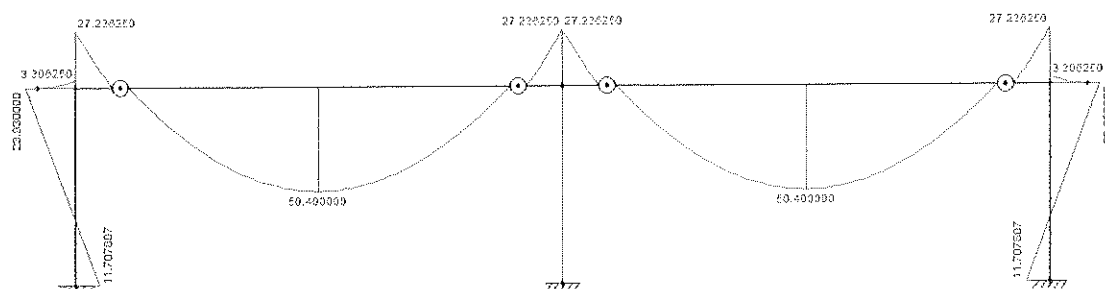




Figura 16 - Calculador para flexão simples (momento fletor metade para cada alma)

<b>Seção</b>		<b>Armadura</b>	
Largura	20 cm	Quantidade	1
Altura ÚTIL	62 cm	Bitola	mm
Largura mesa colaborante	40 cm	Espaçamento	cm
Altura mesa colaborante	12 cm	Área de armadura	13.657 cm <sup>2</sup>
Largura colaborante inferior	0 cm	Tipo de aço	CA50A
Altura colaborante inferior	0 cm		
Largura média seção trapezoidal	0 cm		

<b>Momento fletor na seção</b>		<b>Concreto</b>	
Valor característico	25 tfm	Fck	400 kgf/cm <sup>2</sup>

<b>Resultado do cálculo</b>			
Tipo de seção		T	
Altura da linha neutra	7.64 cm	As - Armadura principal	13.66 cm <sup>2</sup>
Momento Mk	25.00 tfm	As' - Armadura dupla	0.00 cm <sup>2</sup>

#### 4.4.2 RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO DA LAJE DE TRAVESSIA PARA IÇAMENTO

Nesse caso, o concreto ainda não está completamente curado, e por isso, considerou-se o  $f_{ck} = 30\text{MPa}$ . Além disso, a carga atuante é apenas seu peso próprio.

O momento negativo resultante, conforme figuras abaixo, foi de intensidade muito baixa, levando à utilização da armadura mínima (2 barras de 12.5 mm na parte superior de cada alma). O Momento positivo não gerou armadura superior à dimensionada para a utilização da laje.

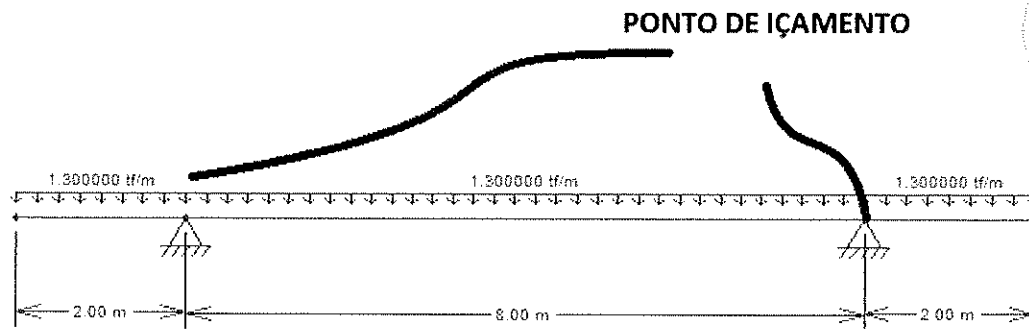


Figura 18 - Momentos fletores característicos no içamento (kN.m)

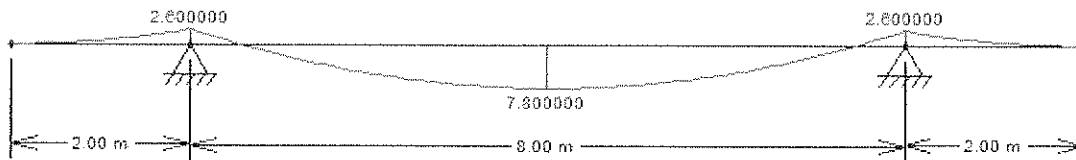


Figura 19- Dimensionamento momento positivo no momento do içamento

Seção		Armadura	
Largura	20 cm	Quantidade	1
Altura ÚTIL	62 cm	Bitola	mm
Largura mesa colaborante	40 cm	Espaçamento	cm
Altura mesa colaborante	12 cm	Área de armadura	2.046 cm <sup>2</sup>
Largura colaborante inferior	0 cm	Tipo de aço	CA50A
Altura colaborante inferior	0 cm		
Largura média seção trapezoidal	0 cm		

Momento fletor na seção		Concreto	
Valor característico	3.9 tfm	Fck	300 kgf/cm <sup>2</sup>

Resultado do cálculo			
Tipo de seção	T	As - Armadura principal	2.05 cm <sup>2</sup>
Altura da linha neutra	1.65 cm	As' - Armadura dupla	0.00 cm <sup>2</sup>
Momento Mk	3.90 tfm		