



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**BRENNO FURTADO DE FIGUEIREDO**

**DESENVOLVIMENTO DE ÁBACOS E TABELAS DE DIMENSIONAMENTO PARA  
SAPATAS ISOLADAS QUADRADAS**

**JOÃO PESSOA  
2016**

**BRENNO FURTADO DE FIGUEIREDO**

**DESENVOLVIMENTO DE ÁBACOS E TABELAS DE DIMENSIONAMENTO PARA  
SAPATAS ISOLADAS QUADRADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à  
Universidade Federal da Paraíba, como pré-requisito  
para obtenção do título de graduado em Engenharia  
Civil da Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Prof. Dr. Hidelbrando José Farkat  
Diógenes

**JOÃO PESSOA**  
**2016**

F4751d Figueiredo, Brenno Furtado de  
Desenvolvimento de ábacos e tabelas de  
dimensionamento para sapatas isoladas quadradas./Brenno  
Furtado de Figueiredo ./ - João Pessoa, UFPB,2016

102f.il.:

Orientador: Prof. Dr. Hidelbrando José Farkat Diógenes.

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil)  
CGEC./ Centro de Tecnologia / Campus I / Universidade  
Federal da Paraíba.

1. Fundações diretas 2. Dimensionamento 3. Sapatas.  
4. Ábacos. I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed: 626.134 (043)

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

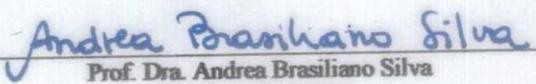
**BRENNO FURTADO DE FIGUEIREDO**

**DESENVOLVIMENTO DE ÁBACOS E TABELAS DE DIMENSIONAMENTO PARA  
SAPATAS ISOLADAS QUADRADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso em 28/11/2016 perante a seguinte Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Hidelbrando José Farkat Diógenes  
DECA/ CT/UFPB

APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Andrea Brasiliano Silva  
DECA/ CT/UFPB

APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes  
DECA/ CT/UFPB

APROVADO

\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Ana Cláudia F. Medeiros Braga  
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer à Deus, que nas alegrias ou dificuldades sempre esteve comigo, me guiando apesar dos meus desvios.

Aos meus pais, Francisco William e Josefa Joelma, que foram meus grandes mentores, me deram todo o suporte financeiro e emocional que sem eles não teria chegado aonde cheguei e são as pessoas que mais admiro, sempre souberam me ajudar e foram exemplos de pais.

Aos meus irmãos, Camilla Furtado e Gustavo Furtado, que apesar das nossas brigas são aqueles que nunca me abandonaram e os quais eu tenho um grande carinho e admiração.

Aos meus familiares, tios e primos que sempre foram unidos e cada um ajudou direta ou indiretamente no meu crescimento pessoal principalmente nesse final de curso, em especial ao meu primo Filipe Furtado, com o qual sempre convivi, sendo um grande amigo para todos os momentos e a minha prima Michelle Anne Furtado por ser uma prima que considero irmã, muito presente e que sempre esteve ao lado dos meus pais dando um suporte que eu não pude dar.

Ao meu avô, que seu sonho era ser engenheiro, não pôde mas deu educação para que as próximas gerações realizasse o seu sonho e que agora, com muito orgulho, estou conseguindo realizar.

A todos os amigos e amigas que sempre me colocaram para um bom caminho e me forçaram a ser cada vez melhor.

A meus colegas de classe, com os quais passei muitas noites acordados, sofrendo para depois recebermos pelos nossos esforços, pois com eles já foi um caminho difícil, sem eles não teria chegado aonde cheguei e que agora não são apenas colegas de classe, mas grandes amigos de profissão e que serão para sempre.

Ao meu professor orientador, Dr. Hidelbrando que não foi para mim apenas um professor, mas também um amigo que me ajudou bastante nesse ano e que sem ele não estaria concluindo esse TCC.

A todos que contribuíram para o meu sucesso eu gostaria de dizer um grande obrigado e que esse sucesso é de vocês também!

## RESUMO

As sapatas são estruturas que suportam o peso de obras de pequeno porte a exemplo de casas e edifícios de poucos pavimentos, por esta razão as sapatas são largamente utilizadas em regiões com boa capacidade de suporte do solo. Suas dimensões dependem da ação da carga vertical (ex: peso próprio das estruturas) e momentos (ex: devido a excentricidade da carga vertical ou pela ação do vento). Além dos carregamentos, as dimensões das sapatas são definidas em função tensão admissível do solo, ou seja, o quanto de força aquele solo suporta por unidade de área. Nesse sentido o presente estudo foi desenvolvido a partir de consultas a material bibliográfico, as normas ABNT-NBR 6118-2014 e ABNT-NBR:6122-2010, ainda profissionais da área de estruturas e geotecnia. Resultando assim na criação de ábacos e tabelas, para o auxílio no dimensionamento de sapatas quadradas. Verificou-se tanto nos ábacos quanto nas tabelas a existência da proporcionalidade direta entre as dimensões da sapata e a tensão admissível do solo. Ainda foi realizado um estudo comparativo entre o método analítico manual que originou os ábacos com o dimensionamento realizado no programa de cálculo estrutural CYPECAD<sup>®</sup>, after hours. A análise da referida comparação indicou que as tabelas e ábacos produzidos são uma ferramenta útil quando do julgamento do resultado do programa, uma vez que há considerações conservadoras de cálculo embutidas no mesmo que podem conduzir a um dimensionamento pouco racional, demandando, portanto, experiência do usuário no julgamento do resultado a fim de mitigar esse problema.

**Palavras-chave:** Fundações diretas, Dimensionamento, Sapatas, Ábacos

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sapata com grelhas.....	14
Figura 2 - Desenho esquemático do bloco de fundação e seção tipo.....	18
Figura 3 - Formas da sapata e desenho esquemático .....	18
Figura 4 - Desenho esquemático da sapata corrida.....	19
Figura 5 - Desenho esquemático da sapata associada.....	19
Figura 6 - Desenho esquemático do radier .....	20
Figura 7 - Dimensões da sapata.....	20
Figura 8 - Dimensões da sapata.....	21
Figura 9 - Sapata sob carga centrada e tensão constante .....	22
Figura 10 - Dimensões e seção de referência $S_{1A}$ .....	26
Figura 11 - Região crítica C (contorno do pilar) e biela comprimida.....	28
Figura 12 - Sapata sob ação de carga excêntrica .....	31
Figura 13 - Força aplicada dentro do núcleo central de inércia.....	32
Figura 14 - Força aplicada no limite do núcleo central de inércia e $\sigma_{\min} = 0$ .....	33
Figura 15 - Força aplicada fora do núcleo central de inércia.....	34
Figura 16 - Forças e momentos que atuam na sapata .....	36
Figura 17 - Sapata sob carga excêntrica nas duas direções $\left(\frac{e_A}{A} + \frac{e_B}{B} \leq \frac{1}{6}\right)$ .....	38
Figura 18 - Sapata sob carga excêntrica nas duas direções $\left(\frac{e_A}{A} + \frac{e_B}{B} > \frac{1}{6}\right)$ .....	40
Figura 19 – Detalhamento da sapata.....	46
Figura 20 - Detalhamento da sapata .....	48
Figura 21 - Esquema de reações do solo na base da sapata.....	52
Figura 22 - Detalhamento da sapata .....	55
Figura 23 - Esquema de reações do solo na base da sapata.....	60
Figura 24 - Detalhamento da sapata .....	61
Figura 25 - Ábaco para determinação das tensões máximas nas sapatas retangulares rígidas para ação com dupla excentricidade MONTOYA, 1973.....	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sapata com carga centrada método do CEB-70.....	64
Tabela 2 - Sapatas com carga centrada método das bielas .....	65
Tabela 3 - Sapatas com carga excêntrica de 5% de A .....	66
Tabela 4 - Sapatas com carga excêntrica de 10% de A .....	67
Tabela 5 - Sapatas com carga excêntrica de 15% de A .....	68
Tabela 6 - Sapatas com carga excêntrica de 30% de A .....	69
Tabela 7 - Sapatas com carga oblíqua de 5% de A e B .....	70
Tabela 8 - Sapatas com carga oblíqua de 10% de A e B .....	71
Tabela 9 - Sapatas com carga oblíqua de 15% de A e B .....	72
Tabela 10 - Sapatas com carga oblíqua de 30% de A e B .....	73
Tabela 11 – Quantitativo e custo das sapatas.....	74

## LISTA DE ÁBACOS

Ábaco 1 - Sapata com carga centrada método do CEB-70.....	75
Ábaco 2 - Sapatas com carga centrada método das bielas.....	76
Ábaco 3 - Sapatas com carga excêntrica de 5% de A.....	77
Ábaco 4 - Sapatas com carga excêntrica de 10% de A.....	78
Ábaco 5 - Sapatas com carga excêntrica de 15% de A.....	79
Ábaco 6 - Sapatas com carga excêntrica de 30% de A.....	80
Ábaco 7 - Sapatas com carga oblíqua de 5% de A e B.....	81
Ábaco 8 - Sapatas com carga oblíqua de 10% de A e B.....	82
Ábaco 9 - Sapatas com carga oblíqua de 15% de A e B.....	83
Ábaco 10 - Sapatas com carga oblíqua de 30% de A e B.....	84

## LISTA DE DE SIGLAS E SÍMBOLOS

CEB: comitê europeu de concreto

$S_{sap}$ : área da base da sapata

c: balanço da sapata

h: altura da sapata

A: lado da sapata

B: lado da sapata

$a_p$ : lado do pilar referente ao lado A

$b_p$ : lado do pilar referente ao lado B

$K_{maj}$ : coeficiente de majoração da carga vertical das ações permanentes

$V_k$ : carga vertical

$\sigma_{adm}$ : tensão admissível do solo

$A_c$ : área do pilar

$V_d$ : carga vertical de projeto

$f_{ck}$ : resistência característica do concreto a compressão

$c_a$ : balanço da sapata referente ao lado A

d: altura útil da sapata

c: cobrimento de concreto

$h_o$ : altura da borda da sapata

$p_d$ : pressão no solo

$S_{1A}$ : seção de referência no lado A

$x_A$ : distância da seção de referência até a borda da sapata

$M_{1A,d}$ : Momento fletor interno na seção de referência  $S_{1A}$

$A_{s,A}$ : Área da armadura de aço para o momento  $M_{1A,d}$

$f_{yd}$ : resistência de cálculo de aço

$e$ : espaçamento

excentricidade da força aplicada na sapata

$\tau_{Sd}$ : tensão de cisalhamento atuante

$\tau_{Rd,2}$ : tensão de cisalhamento resistente

$T_x$ : força de tração na direção x

$\sigma_{m\acute{a}x}$ : tensão máxima resistida pela sapata

$\sigma_{m\acute{i}n}$ : tensão mínima atuante na sapata

M: momento atuante na sapata

$M_{estab}$ : Momento estabilizador

$M_{tomb}$ : Momento de tombamento

$\gamma_{tomb}$ : Coeficiente de segurança ao tombamento da sapata

$p_{1,A}$ : tensão no solo na posição da seção de referência  $S_{1A}$

$\sigma_{m\acute{a}x,d}$ : tensão máxima teórica de cálculo

$\sigma_{m\acute{i}n,d}$ : tensão mínima teórica de cálculo

## SUMÁRIO

<b>1 CONTEXTO E MOTIVAÇÃO</b> .....	13
1.1. OBJETIVO DO TRABALHO .....	14
1.2. METODOLOGIA GERAL DO ESTUDO .....	15
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	17
2.1. TIPOS DE FUNDAÇÕES RASAS.....	17
2.2. RIGIDEZ DA SAPATA.....	20
2.3. MODELO DE CÁLCULO – SAPATAS - CARGA CONCENTRADA .....	22
2.3.1 Recomendações segundo o CEB 1970 .....	22
2.3.1.1. Determinação da carga concentrada.....	23
2.3.1.2. Geometria da sapata .....	23
2.3.1.3. Determinação dos momentos fletores internos solicitantes.....	25
2.3.1.4. Determinação das áreas de aço e armaduras .....	26
2.3.1.5. Verificação da diagonal comprimida.....	27
2.3.2 Método das Bielas.....	28
2.3.2.1. Determinação da carga concentrada.....	29
2.3.2.2. Determinações geométricas da sapata .....	29
2.3.2.3. Determinação das forças de tração na base da sapata .....	29
2.3.2.4. Determinação das áreas de aço e armaduras .....	30
2.3.2.5. Verificação da diagonal comprimida.....	30
2.4. SAPATAS SOB AÇÃO DE CARGAS EXCÊNTRICAS .....	31
2.4.1 Excentricidade em uma direção .....	31
2.4.1.1. Determinação da carga concentrada e do momento fletor .....	32
2.4.1.1.1. Força aplicada dentro do núcleo central de inércia $(e < \frac{A}{6})$ .....	32
2.4.1.1.2. Força aplicada no limite do núcleo central de inércia $(e = \frac{A}{6})$ .....	33
2.4.1.1.3. Força aplicada fora do núcleo central de inércia $(e > \frac{A}{6})$ .....	34
2.4.1.2. Determinações geométricas da sapata .....	35
2.4.1.3. Verificação do tombamento da sapata.....	35
2.4.1.4. Determinação dos momentos fletores internos solicitantes.....	37

2.4.2 Excentricidade nas duas direções .....	38
2.4.2.1. Determinação da carga concentrada e dos momentos fletores.....	38
2.4.2.1.1. Força aplicada dentro ou no limite do núcleo central de inércia $\left(\frac{e_A}{A} + \frac{e_B}{B} \leq \frac{1}{6}\right)$ .	38
2.4.2.1.2. Força aplicada fora do núcleo central de inércia $\left(\frac{e_A}{A} + \frac{e_B}{B} > \frac{1}{6}\right)$ .....	40
<b>3 ESTUDOS DE CASO</b> .....	<b>42</b>
3.1. ESTUDO DE CASO 1 .....	42
3.2. ESTUDO DE CASO 2 .....	46
3.3. ESTUDO DE CASO 3 .....	48
3.4. ESTUDO DE CASO 4 .....	55
<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>63</b>
4.1. TABELAS .....	64
4.2. ÁBACOS .....	75
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>85</b>
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	<b>87</b>
<b>ANEXO A – TABELAS</b> .....	<b>88</b>
<b>ANEXO B – ÁBACO</b> .....	<b>90</b>
<b>ANEXO C – CYPECAD</b> .....	<b>91</b>

## 1 CONTEXTO E MOTIVAÇÃO

As sapatas são os elementos de fundação mais antigos que se têm. Atualmente existem diferentes modos de fundação, as tratadas nesse trabalho serão as sapatas isoladas que surgiram na idade média com o desenvolvimento da arquitetura gótica e, conseqüentemente, das colunas individuais. Leonards<sup>1</sup> (1962 apud SILVA, 1998, p. 7)

Não havia as regras de projeto que existem hoje, onde apenas se tinha a largura da sapata inversamente proporcional à resistência do solo, ou seja, para um solo que apresentasse baixa resistência, seria necessária uma largura maior da sapata. Não se tinha um dimensionamento da sapata através da carga que a mesma recebesse, normalmente se fazia o dimensionamento pelo espaço que se tinha disponível ou pela geometria do pilar ou parede que ela suportava e se caso ocorresse alguma falha, aumentava-se as suas dimensões. (SILVA, 1998)

Frederick Baumann no ano de 1873 deu um significativo avanço na área de fundações onde dizia que a área da sapata deveria ser proporcional à carga que a mesma recebesse e que o centro de aplicação deveria ser alinhado com o centro de gravidade da sapata. (SILVA, 1998)

Segundo Silva (1998), até o século XIX, as sapatas eram construídas de alvenaria de pedra argamassada e na medida em que os projetos arquitetônicos ficavam maiores e mais complexos necessitava-se sapatas demasiadamente grandes. A fim de mitigar o problema passou-se a utilizar grelhas, de madeira ou aço no intuito de combater os esforços de tração da base da sapata.

Um bom exemplo foi desenvolvido em Chicago (EUA) no final do século XIX, que passou a utilizar grelhas de madeira ou aço posicionadas na base da sapata (Figura 1), resultando em uma redução de profundidade e de peso próprio das sapatas. No século XX, com o desenvolvimento do concreto armado, o custo de fundações caiu consideravelmente, o que acarretou uma utilização cada vez menor das sapatas de alvenaria de pedra com grelhas de madeira. (SILVA, 1998)

---

<sup>1</sup> LEONARDS, G.A. (1962). *Foundation engineering*. New York, McGraw Hill. p.525-531.

Figura 1 - Sapata com grelhas



Fonte: SILVA, 1998, p. 8.

Assim, com o advento das sapatas de concreto armado e o desenvolvimento da mecânica dos solos, em boa parte graças a Karl Terzaghi, em 1925, que forneceu a primeira análise integrada do comportamento dos solos e dos recalques, deu a Engenharia de Fundações um grande avanço.

Atualmente, por meio da utilização de ferramentas computacionais, os métodos atuais de cálculo estão implementados em diversos programas possibilitando uma considerável economia do tempo de projeto, um melhor detalhamento da solução e, quando operado por usuário com experiência, um projeto de fundação mais racional.

Nesse sentido, é fundamental que se tenha a mão ferramentas que possibilitem um pré-dimensionamento rápido de sapatas, a fim de dar sensibilidade ao julgamento do resultado dos *softwares*, ou ainda realizar estimativas de custos para orçamentos. Em relação a isso foi constatada a falta de tabelas e ábacos que pudessem ajudar no dimensionamento e verificação dos resultados dos programas, justificando assim a temática desse estudo.

## 1.1. OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo principal desse trabalho é apresentar metodologias de cálculo de fundações diretas do tipo sapata a luz da ABNT-NBR 6118:2014 e ABNT-NBR 6122:2010. E ainda, elaborar tabelas e ábacos que agilizem o dimensionamento e verificação desses elementos.

Como objetivo específico foi-se estabelecido:

- comparar os resultados encontrados obtidos utilizando as metodologias disponíveis na bibliografia com àqueles obtidos em programas de cálculo a exemplo CYPECAD<sup>®</sup>, after hours.

## 1.2. METODOLOGIA GERAL DO ESTUDO

O presente estudo tem caráter teórico, com eventuais modelagens numéricas em *softwares* de cálculo estrutural para a realização dos exemplos.

Para o desenvolvimento da justificativa, dos objetivos e da metodologia de cálculo analítico, foi realizado uma pesquisa bibliográfica com ênfase no dimensionamento estrutural de sapatas.

Ato contínuo, foram elaborados exemplos de cálculo e dimensionamento a fim de possibilitar a discussão dos resultados analíticos e numéricos. Por fim, foi-se elaborado as tabelas e ábacos para verificação e dimensionamento de sapatas quadradas. Sobre esse aspecto, como critérios para poder realizar o dimensionamento, foram pré-determinadas as áreas da base da sapata e a tensão admissível do solo. A faixa de valores das dimensões das sapatas quadradas são de 0,60 m até 1,20 m de lado. O valor de 0,60 m foi adotado em função da ABNT-NBR 6122:2010 limitar esse valor como mínimo e de 1,20 m para avaliar se entre esses valores há proporcionalidade direta e determinar de quanto será essa proporcionalidade.

O intervalo de tensões admissíveis do solo adotados são de 0,005 kN/cm<sup>2</sup> à 0,020 kN/cm<sup>2</sup>, onde se pretendeu fazer a mesma análise que foi realizada para as dimensões da sapata, ou seja, verificar se existência proporcionalidade direta e quantificá-la.

No trabalho foram desenvolvidos quatro estudos de caso. Em cada um deles, adotados alguns critérios fixos tais como: área da base da sapata, tensão admissível do solo e resistência

do concreto que serão utilizados para o dimensionamento e detalhamento das sapatas através dos modelos de cálculos que foram descritos no Capítulo 2.

Finalizando o trabalho, serão apresentados e realizados comentários sobre as tabelas e ábacos que foram elaboradas como decorrência deste estudo. Também serão comparados e discutidos os resultados encontrados nos programa de cálculo estrutural com os estudos de caso e por fim apresentar algumas conclusões diante de todas estas análises discutidas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Fundações são os elementos estruturais que transmitem todos os esforços da superestrutura para uma camada resistente do solo de uma forma adequada. Além disso, esses elementos estruturais devem ter resistência, para que não sofram ruptura devido as cargas, e dimensões satisfatórias para transferir esses esforços adequadamente para o solo de modo que não causem recalques diferenciais prejudiciais e tão pouco a própria ruptura do solo. (ALVA, 2007)

Segundo a ABNT-NBR 6122:2010, as fundações se classificam em duas, de acordo com a cota de apoio e a transferência das ações para o solo conforme a seguir:

Fundação superficial (rasa ou direta): elemento de fundação em que a carga é transmitida ao terreno pelas tensões distribuídas sob a base da fundação, e a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente à fundação é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação.

Fundação profunda: elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, devendo a sua ponta ou base estar assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3,0 m. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas e os tubulões.

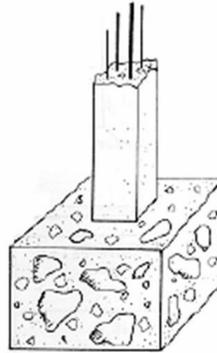
### 2.1. TIPOS DE FUNDAÇÕES RASAS

Como anteriormente mencionado, existem dois grandes grupos de fundações de acordo com a ABNT-NBR 6122:2010, as fundações diretas e as fundações profundas. Neste tópico será abordado apenas as fundações diretas, por fazer parte do objetivo deste trabalho.

Os tipos de fundações rasas ou superficiais de acordo com Velloso, (2010) são:

- Bloco: Elemento de fundação dimensionado para que o concreto resista as tensões de tração que nele atuam sem haver a necessidade de colocar as armaduras (Figura 2);

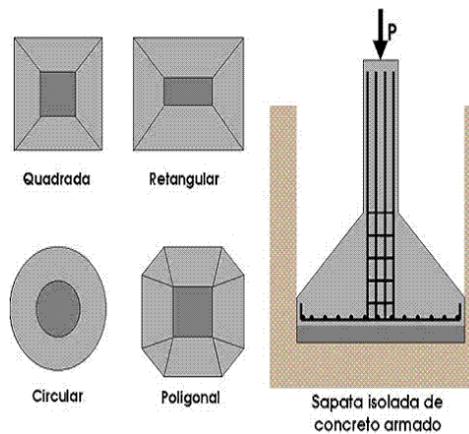
Figura 2 - Desenho esquemático do bloco de fundação e seção tipo



Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/2628778/>

- Sapata: Elemento de fundação de concreto armado, onde a armadura de aço colocada irá resistir as tensões de tração. É o tipo de fundação direta mais utilizado. Podem ter altura constante ou variável (Figura 3);

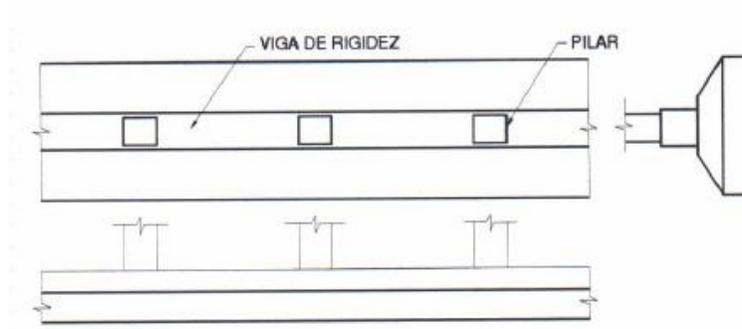
Figura 3 - Formas da sapata e desenho esquemático



Fonte: <http://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/sapatas-da-construcao/>.

- Sapata corrida: Sapata sujeita à ação de uma carga distribuída linearmente ou de pilares em um mesmo alinhamento, também chamada de baldrame ou viga de fundação (Figura 4);

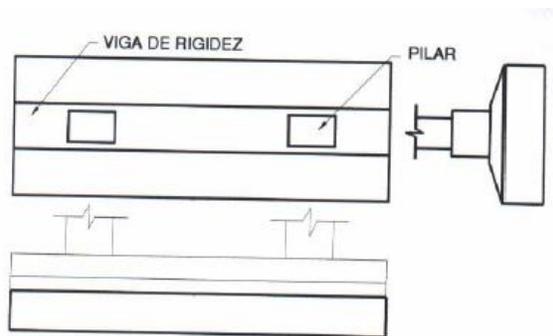
Figura 4 - Desenho esquemático da sapata corrida



Fonte: SILVA; VANDERLEI; GIONGO, 2008, (p. 3)

- Sapata associada: Sapata que recebe mais de um pilar, geralmente é utilizada quando a distância entre duas sapatas é relativamente pequena sendo esta uma opção mais econômica (Figura 5);

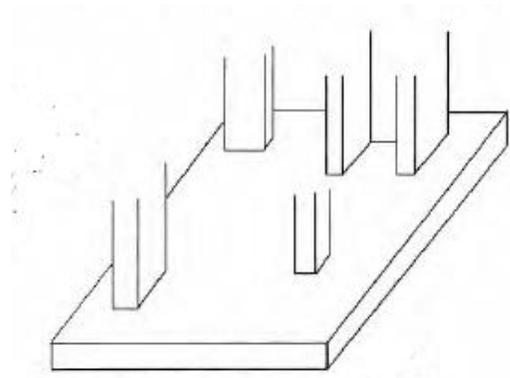
Figura 5 - Desenho esquemático da sapata associada



Fonte: SILVA; VANDERLEI; GIONGO, 2008, p. 2)

- Radier: Elemento de fundação que recebe parte ou todos os pilares de uma estrutura. É utilizado quando a área da base das sapatas ocupa mais de 70% da área do terreno, pois assim se economizará com fôrmas (Figura 6).

Figura 6 - Desenho esquemático do radier



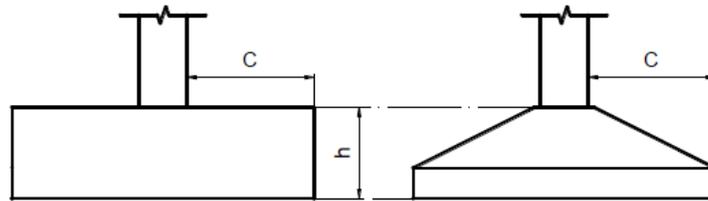
Fonte: <http://monteiroeng.blogspot.com.br/p/notas-de-aula.html>

## 2.2. CLASSIFICAÇÃO DA SAPATA QUANTO SUA RIGIDEZ

A classificação da rigidez das sapatas segundo Basto (2016), é de extrema importância, pois essa análise determina o procedimento e método adotado para o dimensionamento estrutural por direcionar a forma como a distribuição de tensões na interface base da sapata/solo deve ser considerada.

De acordo com suas dimensões, as sapatas podem ser caracterizadas como rígidas ou flexíveis. Segundo Montoya (1973), as sapatas são consideradas como flexíveis quando  $c > 2h$  e rígidas quando  $c \leq 2h$  (Figura 7).

Figura 7 - Dimensões da sapata



Fonte: BASTOS, 2016, p. 28

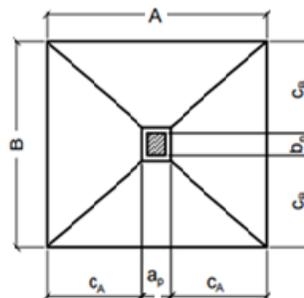
Já segundo ABNT-NBR 6118:2014 item 22.6, para uma sapata ser considerada rígida ela deve satisfazer a Equação 1, ou ainda, será considerada flexível satisfizer a Equação 2.

$$h \geq \frac{(A-a_p)}{3}, \text{ para ser considerada como flexível} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$h < \frac{(A-a_p)}{3}, \text{ para ser considera rígida} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde  $h$  é a altura da sapata,  $A$  é a dimensão da sapata em uma direção e  $a_p$  é a dimensão do pilar na mesma direção, como pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 - Dimensões da sapata



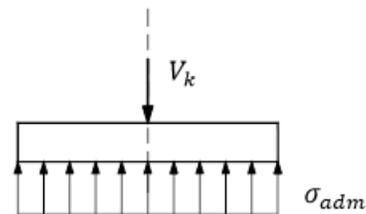
Fonte: BASTOS, 2016, p. 33, editado pelo autor

Cabe ressaltar que este estudo teve como foco as sapatas rígidas por elas serem mais utilizadas.

### 2.3. MODELO DE CÁLCULO – SAPATAS - CARGA CONCENTRADA

Sapata sob carga concentrada ocorre quando a carga vertical do pilar passa pelo centro de gravidade da base da sapata. É o caso mais simples que ocorre em sapatas e de fácil dimensionamento. A tensão na base da sapata será constante (Figura 9). Para este caso, será apresentado dois métodos de cálculo para o dimensionamento deste tipo de fundação.

Figura 9 - Sapata sob carga centrada e tensão constante

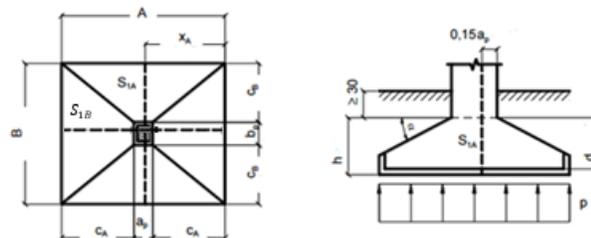


Fonte: ALVA, 2007, p. 8, editado pelo autor

#### 2.3.1 Recomendações segundo o CEB 1970

O método do CEB 1970 analisa os momentos fletores internos solicitantes em duas seções de referência em função do lado da sapata, denominadas  $S_{1A}$  e  $S_{1B}$ , interna ao pilar a uma distância  $0,15a_p$  da sua face, ao longo de todo o comprimento da sapata conforme a Figura 10, onde, os momentos fletores internos encontrados deverão ser combatidos por uma armadura.

Figura 10 - Dimensões e seção de referência  $S_{1A}$



Fonte: BASTOS, 2016, p. 35, editado pelo autor

### 2.3.1.1. Determinação da carga concentrada

Para encontrar o valor da carga concentrada na sapata foi utilizada a Equação 3.

$$S_{sap} = \frac{K_{maj} \times V_k}{\sigma_{adm}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

$S_{sap}$ : é a área da base da sapata (A x B) em cm;

$K_{maj}$ : é um coeficiente de majoração da carga vertical das ações permanentes;

$V_k$ : carga vertical na sapata em kN;

$\sigma_{adm}$ : tensão admissível do solo em kN/cm<sup>2</sup>.

A ABNT-NBR 6122:2010 no item 5.6 recomenda que o coeficiente de majoração  $K_{maj}$  seja no mínimo de 5% da carga vertical considerando assim o peso próprio da sapata. Campos (2015) recomenda 1,05 para sapatas flexíveis e de 1,05 a 1,10 para sapatas rígidas.

### 2.3.1.2. Geometria da sapata

Tendo obtido o valor de  $V_k$ , é feito um pré-dimensionamento do pilar para encontrar os comprimentos dos seus lados (Equação 4) e depois se obter os valores dos balanços, altura e angulo de talude da sapata da Figura 8.

$$A_c = \frac{V_d}{0.5 \times f_{ck} + 0.4} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

$A_c$ : Área do pilar ( $a_p \times b_p$ ) em cm<sup>2</sup>;

$V_d$ : Carga vertical de projeto ( $V_k \times \gamma_n \times \gamma_p$ ) no pilar em kN;

$f_{ck}$ : Resistência característica do concreto a compressão;

$\gamma_n$ : Coeficiente majorador dos esforços solicitantes;

$\gamma_p$ : Coeficiente de ponderação da resistência do concreto.

Após se obter os valores dos lados do pilar, pode-se calcular os balanços da sapata, sendo ambos iguais por ser uma sapata quadrada, então:

$$c_a = \frac{A - a_p}{2} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

$c_a$ : Balanço do lado A em cm;

A: lado da sapata em questão;

$a_p$ : lado do pilar paralelo ao lado A da sapata.

A altura da sapata h deve satisfazer às Equações 6 e 7:

$$h = d + c + \emptyset/2 \quad (\text{Eq. 6})$$

ou

$$h \geq \frac{A - a_p}{3} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

h: Altura da sapata em cm;

d: Altura útil da sapata em cm, ou seja, a partir da metade do diâmetro da barra até o topo da sapata;

c: Cobrimento em cm.

$\emptyset$ : diâmetro da armadura

A altura da borda da sapata  $h_o$  deve obedecer as Equações 8 e 9, ou altura mínima de 15cm, prevalecendo o maior destes valores.

$$h_o = h - tg(30) \times c_a \quad (\text{Eq. 8})$$

$$h_o = \frac{h}{3} \quad (\text{Eq. 9})$$

E após se determinar o valor de  $h_o$  pode-se determinar o ângulo da superfície inclinada da sapata (Equação 10), não devendo ele ser maior que 30 graus, que é o ângulo natural de talude do concreto.

$$tg(\alpha) = \frac{h - h_o}{c_a} \quad (\text{Eq. 10})$$

### 2.3.1.3. Determinação dos momentos fletores internos solicitantes

Para aplicar o processo do CEB-70, é necessário obedecer a Equação 11 (ver Figura 7):

$$\frac{h}{2} \leq c \leq 2h \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde:

c: Balanço da sapata em cm.

Após satisfazer a equação acima, sendo verificado para ambos os balanços, pode-se dar continuidade aos passos a seguir.

Por meio da Equação 12 se determina a pressão no solo, sendo esta uma pressão fictícia que é diferente à tensão admissível do solo. Esta pressão no solo será um valor de cálculo, apenas para determinar os esforços internos solicitantes.

$$p_d = \frac{V_d}{A \times B} \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde:

$p_d$ : Pressão no solo calculada em kN/cm<sup>2</sup>;

$V_d$ : carga vertical de projeto na sapata em kN.

Com o valor da pressão no solo calculada, determina-se os momentos fletores das seções de referência  $S_{1A}$  e  $S_{1B}$ , que de acordo com o CEB-70, se localiza internamente ao pilar a uma distância de  $0,15a_p$  da sua face e ao longo de toda a sapata (ver Figura 10), por meio das Equações 13 e 14.

$$x_{A,B} = c_{A,B} + 0.15a, b_p \quad (\text{Eq. 13})$$

$$M_{1A,d} = M_{1B,d} = p_d \times \frac{x_{A,B}^2}{2} \times B, A \quad (\text{Eq. 14})$$

Onde:

$x_A$ : Distância da seção de referência até a borda da sapata em cm;

$M_{1A,d}$ : Momento fletor interno na seção de referência  $S_{1A}$  em kNcm;

$M_{1B,d}$ : Momento fletor interno na seção de referência  $S_{1B}$  em kNcm.

#### 2.3.1.4. Determinação das áreas de aço e armaduras

É de extrema importância que se tenha armaduras para combater os momentos fletores atuantes na sapata. A Equação 15 determina a área das armaduras de flexão da sapata necessárias para resistir a esses momentos.

$$A_{s,A} = A_{s,B} = \frac{M_{1A,d}}{0.85 \times d \times f_{yd}} \quad (\text{Eq. 15})$$

Onde:

$A_{s,A}$ : Área da armadura de aço para o momento  $M_{1A,d}$  em  $\text{cm}^2$ ;

$d$ : Altura útil da sapata em cm;

$f_{yd}$ : Resistência de cálculo de aço ( $f_{yk} \times \gamma_s$ );

$\gamma_s$ : Coeficiente de ponderação da resistência da armadura.

A armadura a ser colocada na sapata pode ser encontrada consultando a Tabela A-1 encontrada no anexo A estando o  $A_{s,A}$  dividido pelo lado B (Equação 16)

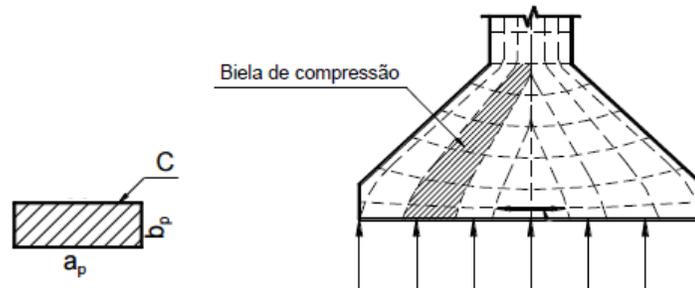
$$\text{Lado A: } \frac{A_{s,A}}{B} \text{ (cm}^2\text{/m)} \quad (\text{Eq. 16})$$

Após se consultar a tabela, teremos os valores das bitolas das barras e o espaçamento correspondente a cada lado, porém como esta sendo analisadas sapatas quadradas o lado A será igual ao lado B. Recomenda-se que os valores do espaçamento estejam compreendidos entre  $10\text{cm} \leq e \leq 20\text{cm}$  para que não se tenha problemas no momento do preenchimento do concreto na fôrma e também para que se evite problemas com fissuras. Já com relação à bitola do aço, a ABNT-NBR 6118:2014 segundo o item (22.6.4.1.1) da referida norma, prescreve que a armadura de flexão deve ser uniformemente distribuída ao longo da largura da sapata, estendendo-se integralmente de face a face da sapata e terminando em gancho nas duas extremidades.

#### 2.3.1.5. Verificação da diagonal comprimida

Por ser uma sapata rígida, não é necessária a verificação por punção, mas ainda é necessário verificar a tensão na diagonal comprimida (biela de concreto comprimida, Figura 11). Onde a condição  $\tau_{Sd} < \tau_{Rd,2}$  tem que ser satisfeita para que não ocorra o esmagamento do concreto na diagonal comprimida.

Figura 11 - Região crítica C (contorno do pilar) e biela comprimida



Fonte: BASTOS, 2016, editado pelo autor

A Equação 17 expressa a tensão de cisalhamento de projeto:

$$\tau_{Sd} = \frac{V_d}{(2 \times a_p + 2 \times b_p) \times d} \quad (\text{Eq. 17})$$

Ao passo que a Equação 18 expressa a tensão de cisalhamento resistente:

$$\tau_{Rd,2} = 0,27 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \quad (\text{Eq. 18})$$

### 2.3.2 Método das Bielas

Método desenvolvido por Lebellet, 1936, tendo como base resultados de numerosos ensaios experimentais para elementos de fundação que recebem uma carga concentrada no seu centro de gravidade, ou uma carga linear no eixo longitudinal de uma fundação contínua ou corrida. Este método só pode ser utilizado para as sapatas que atenderem a condição imposta na Equação 19 Lebellet<sup>2</sup> (1936 *apud* BASTOS, 2016, p. 39).

<sup>2</sup> LEBELLE, P. *Semelles de béton armé*. 1936, Mémoires Assoc. Intern. Ponts Charpentiers

$$d \geq \frac{A - a_p}{4} \quad (\text{Eq. 19})$$

Como o objeto analisado é as sapatas rígidas, e considerando o que é prescrito na ABNT-NBR 6118:2014, sapata rígida deve obedecer a relação  $h \geq (A - a_p)/3$ , então, utilizando o critério da norma brasileira a classificação da rigidez de sapata, a condição de utilização do método será sempre respeitada.

Este método considera que a carga é transferida do pilar para a base da sapata através de bielas de concreto comprimidas, onde não ocorre a ruptura de tais bielas sendo assim dispensado a sua verificação. As tensões de tração geradas na base da sapata pela transferência da carga pelas bielas deve ser suportado por armaduras.

#### 2.3.2.1. Determinação da carga concentrada

A determinação da carga concentrada na sapata para o método das bielas segue igual ao item 2.3.1.1.

#### 2.3.2.2. Determinações geométricas da sapata

O método de cálculo para a altura, altura útil, balanço da sapata, entre outras dimensões serão encontrados no item 2.3.1.2., pois não divergem entre esses dois métodos.

#### 2.3.2.3. Determinação das forças de tração na base da sapata

As forças de tração geradas pelas bielas comprimidas na base da sapata são encontradas segundo a Equação 20 a seguir:

$$T_x = T_y = \frac{V_k}{8} \times \frac{(A - a_p)}{d} \quad (\text{Eq. 20})$$

Onde:

$T_x = T_y$ : Força de tração na direção x e y respectivamente em kN.

#### 2.3.2.4. Determinação das áreas de aço e armaduras

Após ter encontrado as forças de tração, pode-se determinar as áreas das armaduras de aço para combater esses esforços segundo a Equação 21 do método das bielas.

$$A_{s,A} = A_{s,B} = \frac{T_{xd}}{f_{yd}} \quad (\text{Eq. 21})$$

A armadura a ser disposta na sapata pode ser encontrada consultando a Tabela A-1 encontrada no Anexo A, observando que  $A_{s,A}$  deve ser dividido pelo lado B, ou seja, os valores encontrados na tabela do anexo A estão em  $\text{cm}^2/\text{m}$  conforme Equação 16.

Após se consultar a tabela, teremos os valores das bitolas das barras e o espaçamento correspondente a cada lado, porém como esta sendo analisadas sapatas quadradas o lado A será igual ao lado B. Recomenda-se que os valores do espaçamento estejam compreendidos entre  $10\text{cm} \leq e \leq 20\text{cm}$  para que não se tenha problemas no momento do preenchimento do concreto na fôrma e também para que se evite problemas com fissuras. Já com relação à bitola do aço, a ABNT-NBR 6118:2014 no o item (22.6.4.1.1) estabelece que a armadura de flexão deve ser uniformemente distribuída ao longo da largura da sapata, estendendo-se integralmente de face a face da sapata e terminando em gancho nas duas extremidades.

#### 2.3.2.5. Verificação da diagonal comprimida

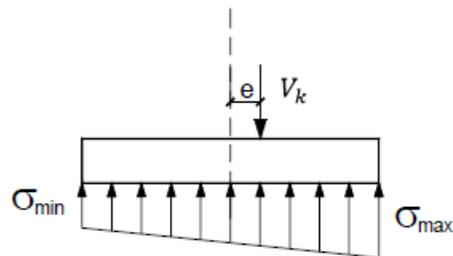
A tensão da diagonal comprimida deve ser verificado para o método das bielas tal como feito no item 2.3.1.5.

## 2.4. SAPATAS SOB AÇÃO DE CARGAS EXCÊNTRICAS

A excentricidade nas sapatas pode surgir através de diversos fatores, sendo eles: momento fletor do pilar transferido para a sapata ou, pela ação de uma carga vertical aplicada fora do centro de gravidade de sua base, gerando assim um momento fletor e conseqüentemente não sendo uniforme as tensões na sua base Figura 12.

Essa carga pode ser excêntrica com relação a um eixo ou aos dois eixos. Caso seja excêntrica a um eixo gerará na base da sapata solicitações de flexão normal composta e se for aos dois será gerada uma flexão oblíqua composta, ambos os casos serão abordados aqui nas seções seguintes.

Figura 12 - Sapata sob ação de carga excêntrica



Fonte: ALVA, 2007, p. 9, editado pelo autor

### 2.4.1 Excentricidade em uma direção

Existem três diferentes casos para serem analisados, que dependem da relação entre a excentricidade e a largura da sapata na mesma direção, ou seja, se a carga será aplicada dentro do núcleo central de inércia ou não.

O núcleo central de inércia é a região da seção transversal analisada que ao se aplicar uma carga concentrada dentro dessa região a estrutura apresentará apenas tensões de compressão e, caso a carga seja aplicada fora do núcleo central aparecerá tensões de tração na estrutura,

portanto é necessário verificar essa aplicação da carga para se determinar qual análise deve ser feita do elemento estrutural.

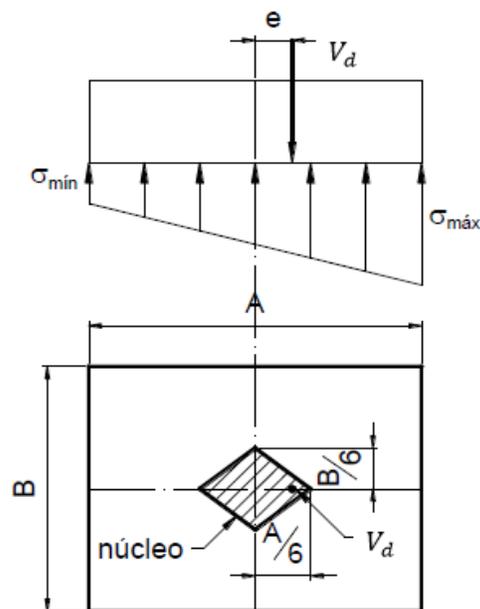
#### 2.4.1.1. Determinação da carga concentrada e do momento fletor

A carga vertical e momento fletor serão determinados de acordo com um dos itens a seguir:

##### 2.4.1.1.1. Força aplicada dentro do núcleo central de inércia ( $e < \frac{A}{6}$ )

Quando a força é aplicada apenas dentro do núcleo central de inércia, a base da sapata apresentará apenas tensões de compressão conforme a Figura 13 e pode-se determinar essas tensões a partir da Resistência dos Materiais referentes à flexão normal composta, apresentado na Equação 22.

Figura 13 - Força aplicada dentro do núcleo central de inércia



Fonte: BASTOS, 2016, p. 45, editado pelo autor

$$\sigma_{m\acute{a}x,m\acute{i}n} = \frac{V_k \times K_{maj}}{S_{sap}} \pm \frac{M}{W} \quad (\text{Eq. 22})$$

Onde:

$e$ : excentricidade da força aplicada;

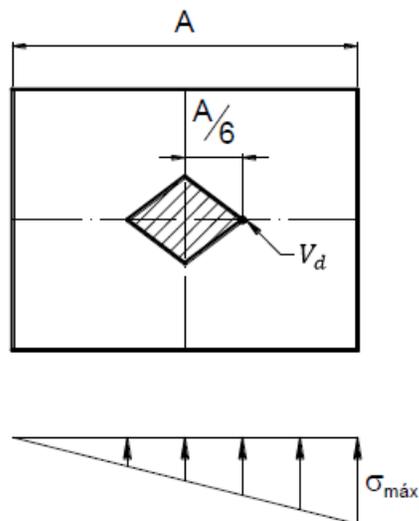
$M$ : ( $V_k \times e$ ) em kN.cm;

$W$ :  $\frac{B \times A^2}{6}$  em  $\text{cm}^3$ , sendo  $A$  a dimensão da sapata na direção analisada e  $B$  na direção perpendicular.

#### 2.4.1.1.2. Força aplicada no limite do núcleo central de inércia ( $e = \frac{A}{6}$ )

Quando a força for aplicada no limite do núcleo central de inércia, a tensão mínima será igual a 0 e a máxima será conforme a equação a seguir:

Figura 14 - Força aplicada no limite do núcleo central de inércia e  $\sigma_{m\acute{i}n} = 0$



Fonte: BASTOS, 2016, p. 46, editado pelo autor

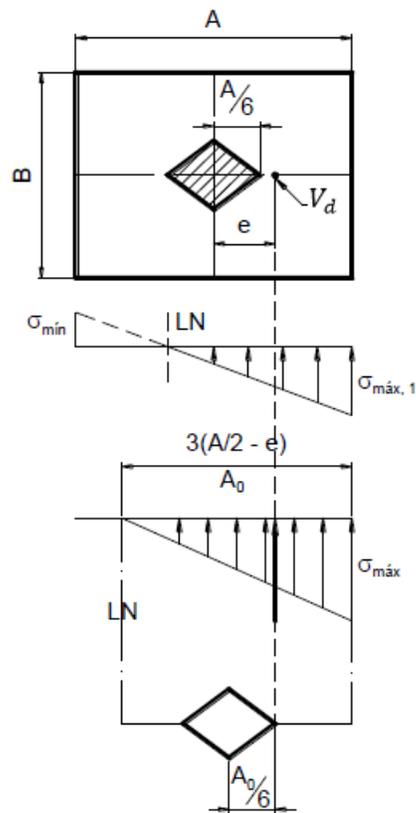
$$\sigma_{m\acute{a}x} = 2 \times \frac{V_k \times K_{maj}}{S_{sap}} \quad (\text{Eq. 23})$$

$$\sigma_{m\acute{i}n} = 0 \quad (\text{Eq. 24})$$

#### 2.4.1.1.3. Força aplicada fora do núcleo central de inércia $(e > \frac{A}{6})$

Quando a força aplicada estiver fora do núcleo central, a tensão mínima será menor que zero, ou seja, uma tensão de tração. Para efeitos de cálculo, adota-se a  $\sigma_{m\acute{i}n} = 0$  e elaborando um novo diagrama triangular a partir desta tensão, excluindo-se a zona tracionada. A tensão máxima de compressão aumentará e será conforme a equação a seguir:

Figura 15 - Força aplicada fora do núcleo central de inércia



Fonte: BASTOS, 2016, p. 47, editado pelo autor

$$\sigma_{\max} = \frac{2 \times V_k}{3 \times B \times \left(\frac{A}{2} - e\right)} \quad (\text{Eq. 25})$$

#### 2.4.1.2. Determinações geométricas da sapata

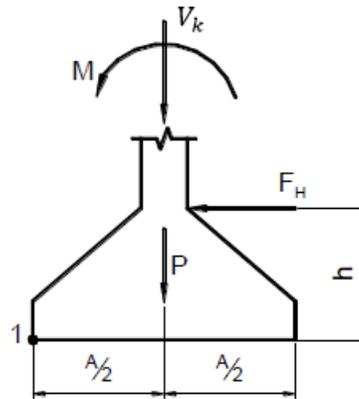
A altura, altura útil, balanço da sapata, entre outras dimensões serão encontrados no item 2.3.1.2., pois os passos para se determinar a sua geometria são iguais.

#### 2.4.1.3. Verificação do tombamento da sapata

Quando uma sapata é submetida a momentos, deve-se verificar a segurança quanto ao tombamento da mesma e na presença de forças horizontais agindo, passa a ser necessário não só verificar a segurança quanto ao tombamento mas também quanto ao deslizamento. Segundo

Montoya (1973) a segurança ao tombamento deve ser a primeira das verificações que se deve fazer em uma sapata. Tal análise se faz de acordo com a equação a seguir:

Figura 16 - Forças e momentos que atuam na sapata



Fonte: BASTOS, 2016, p. 80, editado pelo autor

$$\gamma_{tomb} = \frac{M_{estab}}{M_{tomb}} \geq 1,5 \quad (\text{Eq. 26})$$

Onde:

$M_{estab}$ : Momento estabilizador dado por  $M_{estab} = \frac{(V_k + P) \times A}{2}$ ;

$M_{tomb}$ : Momento de tombamento dado por  $M_{tomb} = M + F_H \times h$

$\gamma_{tomb}$ : Coeficiente de segurança ao tombamento da sapata que segundo MONTROYA (1973) deve ser maior ou igual a 1,5.

Não será abordada aqui a segurança ao deslizamento (escorregamento) da sapata, pois não está sendo considerada a força horizontal aplicada.

#### 2.4.1.4. Determinação dos momentos fletores internos solicitantes

Para aplicar o processo do CEB-70, têm de obedecer a equação já comentada:  $\frac{h}{2} \leq c \leq 2h$ . Após obedecida a equação, será calculada as tensões teóricas na base da sapata de acordo com a excentricidade que já foi explicada anteriormente, sendo apenas uma tensão de cálculo e que não atuam na estrutura.

De acordo com o método do CEB-70, o momento fletor  $M_{1A,d}$  será calculado na seção de referência  $S_{1A}$  tal como foi explicado no item 2.3.1.3., portanto a tensão no solo na posição  $S_{1A}$  será conforme a expressão a seguir:

$$p_{1,A} = \sigma_{máx,d} - \left( \frac{\sigma_{máx,d} - \sigma_{mín,d}}{A} \right) \times x_A \quad (\text{Eq. 27})$$

Onde:

$p_{1,A}$ : tensão no solo na posição da seção de referência  $S_{1A}$  em kN/cm<sup>2</sup>;

$\sigma_{máx,d}$ : tensão máxima teórica de cálculo  $\left( \sigma_{máx,d} = \frac{V_d}{S_{sap}} \left( 1 + \frac{6 \times e' l}{A} \right) \right)$ ;

$\sigma_{mín,d}$ : tensão mínima teórica de cálculo  $\left( \sigma_{mín,d} = \frac{V_d}{S_{sap}} \left( 1 - \frac{6 \times e' l}{A} \right) \right)$ .

Os momentos fletores internos são:

$$M_{1A,d} = \left( P_1 \frac{x_A}{2} + P_2 \frac{4x_A}{6} \right) \times B \quad (\text{Eq. 28})$$

$$M_{1B,d} = P_{méd} \frac{x_B^2}{2} A \quad (\text{Eq. 29})$$

Onde:

$P_1 = p_{1,A} \times x_A$  em kN;

$P_2 = \frac{(\sigma_{máx,d} - p_{1,A}) \times x_A}{2}$  em kN;

$P_{méd} = \frac{\sigma_{máx,d} + \sigma_{mín,d}}{2}$  em kN/cm<sup>2</sup>.

As áreas de aço e armadura serão encontrados da mesma maneira como encontrado no item 2.3.1.4. E ainda, a tensão da diagonal comprimida deve ser verificado do mesmo modo como explicado no item 2.3.1.5.

## 2.4.2 Excentricidade nas duas direções

Quando a excentricidade é em duas direções, o elemento de fundação será submetido a uma flexão composta oblíqua e terá dois casos diferentes a serem analisados de acordo com a excentricidade.

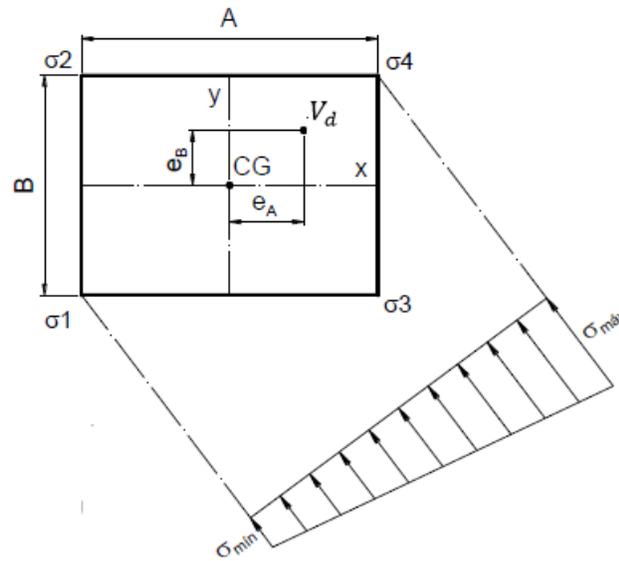
### 2.4.2.1. Determinação da carga concentrada e dos momentos fletores

A carga concentrada e o momento fletor serão determinados de acordo com um dos itens a seguir:

#### 2.4.2.1.1. Força aplicada dentro ou no limite do núcleo central de inércia $\left(\frac{e_A}{A} + \frac{e_B}{B} \leq \frac{1}{6}\right)$

Para este caso valem as expressões da flexão oblíqua composta, pois a força aplicada está dentro do núcleo central de inércia da sapata. As tensões nas extremidades das sapatas são determinadas com as equações a seguir.

Figura 17 - Sapata sob carga excêntrica nas duas direções  $\left(\frac{e_A}{A} + \frac{e_B}{B} \leq \frac{1}{6}\right)$



Fonte: BASTOS, 2016, p. 48, editado pelo autor

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sigma_4 = \frac{V_k \times K_{maj}}{S_{sap}} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \quad (\text{Eq. 30})$$

$$\sigma_{m\acute{i}n} = \sigma_1 = \frac{V_k \times K_{maj}}{S_{sap}} - \frac{M_x}{W_x} - \frac{M_y}{W_y} \quad (\text{Eq. 31})$$

$$\sigma_2 = \frac{V_k \times K_{maj}}{S_{sap}} + \frac{M_x}{W_x} - \frac{M_y}{W_y} \quad (\text{Eq. 32})$$

$$\sigma_3 = \frac{V_k \times K_{maj}}{S_{sap}} - \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \quad (\text{Eq. 33})$$

Os parâmetros descritos nas Equações 30, 31, 32 e 33 são os mesmos que os do caso 1 de carga com excentricidade em uma direção, portanto não serão discutidos aqui. Neste caso terá momento nas duas direções, sendo assim, deve-se considerar os momentos nos eixos x e em y atuantes na sapata.

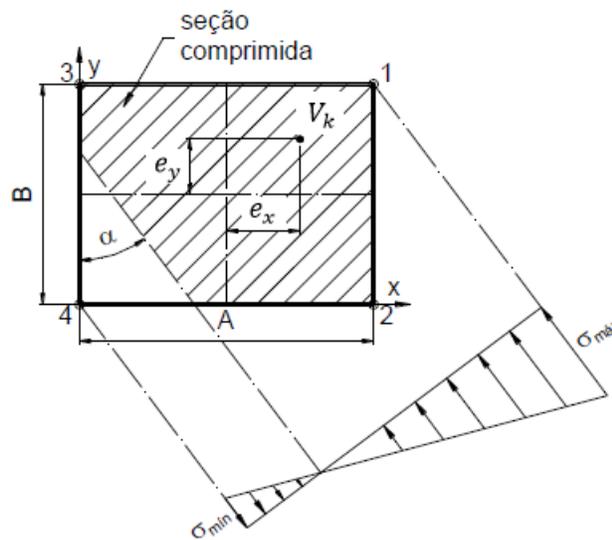
2.4.2.1.2. Força aplicada fora do núcleo central de inércia  $\left(\frac{e_A}{A} + \frac{e_B}{B} > \frac{1}{6}\right)$

Quando a força está fora do núcleo central de inércia, as tensões máximas atuantes na sapata serão determinadas pelo ábaco proposto por Montoya que se encontra no apêndice B, onde primeiramente deve-se determinar os parâmetros  $\eta_x$  e  $\eta_y$  que são necessários para determinar as tensões atuantes na base da sapata.

$$\eta_{x,y} = \frac{e_{x,y}}{A} \quad (\text{Eq. 34})$$

Com os valores acima encontrados e consultando o ábaco pode-se determinar as tensões atuantes conforme:

Figura 18 - Sapata sob carga excêntrica nas duas direções  $\left(\frac{e_A}{A} + \frac{e_B}{B} > \frac{1}{6}\right)$



Fonte: BASTOS, 2016, p. 49, editado pelo autor

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{V_k}{\gamma_1 \times S_{sap}} \quad (\text{Eq. 35})$$

$$\sigma_{m\acute{i}n} = \sigma_4 = \gamma_4 \times \sigma_1 \quad (\text{Eq. 36})$$

$$\sigma_2 = \sigma_1 - (\sigma_1 - \sigma_4) \times \frac{\text{sen}\alpha}{\text{sen}\alpha + \text{cos}\alpha} \quad (\text{Eq. 37})$$

$$\sigma_3 = \sigma_1 - (\sigma_1 - \sigma_4) \times \frac{\text{cos}\alpha}{\text{sen}\alpha + \text{cos}\alpha} \quad (\text{Eq. 38})$$

Onde:

$\gamma_1, \gamma_4$  e  $\alpha$ : São obtidos no ábaco de acordo com os valores  $\eta_x$  e  $\eta_y$ .

A altura, altura útil, balanço da sapata, entre outras dimensões da sapata serão encontrados no item 2.3.1.2., pois os passos para se determinar a geometria da sapata são iguais. A verificação de tombamento da sapata será feita de acordo com o item 2.4.1.3. em ambas as direções já que aqui existe momento nas duas direções.

A determinação dos momentos fletores internos solicitantes será feita tal como foi explicado no item 2.4.1.4. para sapatas sujeitas a apenas momento fletor em uma direção, visto que o procedimento de cálculo é igual para cargas aplicadas fora do núcleo central como cargas aplicadas dentro do núcleo central. Já as áreas de aço e armadura serão encontrados da mesma maneira como encontrado no item 2.3.1.4. Por fim, a tensão da diagonal comprimida deve ser verificado do mesmo modo como foi feito no item 2.3.1.5.

### 3 ESTUDOS DE CASO

Aqui serão abordados alguns exemplos de dimensionamento de sapatas rígidas utilizando o Método do CEB-70 e o Método das Bielas para sapatas com cargas centradas e excêntricas. Os cálculos terão como base tudo o que foi abordado no Capítulo 2.

Os estudos de caso feitos a seguir ajudarão no entendimento dos processos e considerações de cálculo que devem ser feitos ao se dimensionar uma sapata quadrada. Também serão comparados os resultados obtidos em cada exemplo e com os dimensionamentos realizados pelo CYPECAD tecendo algumas conclusões entre os resultados encontrados.

#### 3.1. ESTUDO DE CASO 1

Determinar a carga que uma sapata quadrada de 1,00 m de lado resiste, onde a tensão admissível do solo é de 0,01kN/cm<sup>2</sup>, determinar também a altura da sapata, os balanços e fazer o detalhamento da armadura na base da sapata. Adotar  $K_{maj} = 1,1$ ,  $f_{ck} = 2,5kN/cm^2$ ,  $\gamma_n = 1,25$ ,  $\gamma_p = 1,4$ ,  $\gamma_s = 1,15$  e considerar a carga centrada. Fazer pelo método do CEB-70.

##### a) Determinação da carga vertical

Como já foi dado a área da sapata, a tensão admissível do solo e o  $K_{maj}$  (considerando o próprio da sapata + o peso do solo), pode-se calcular o quanto essa sapata suporta conforme:

$$S_{sap} = \frac{K_{maj} \times V_k}{\sigma_{adm}} \Rightarrow V_k = \frac{\sigma_{adm} \times S_{sap}}{K_{maj}} = \frac{0,01 \times (100 \times 100)}{1,1} = 90,90kN$$

##### b) Dimensões da sapata

Primeiramente é necessário realizar um pré-dimensionamento das dimensões do pilar para determinar os balanços da sapata, logo:

$$A_c = \frac{V_d}{0,5 \times f_{ck} + 0,4} = \frac{90,90 \times 1,25 \times 1,4}{0,5 \times 2,5 + 0,4} = 96,42cm^2$$

Portanto os lados do pilar serão:

$$a_p = b_p = \sqrt{96,42} = 9,81 = 10\text{cm}$$

Como os lados mínimos de pilares é de 14cm, então:

$$a_p = b_p = 14\text{cm}$$

Com os lados do pilar pode-se determinar os balanços da sapata de acordo com:

$$c_a = \frac{A - a_p}{2} = \frac{100 - 14}{2} = 43\text{cm}$$

A altura da sapata tem que ser a maior entre:

$h = d + (c + 1)$ , onde o valor  $d$  deve ser maior que  $l_b$  que se encontra na tabela A-2 do anexo A.

O valor de  $l_b = 26\text{cm}$  (considerando barras de aço nervuradas,  $\phi_{\text{pilar}} = 10\text{mm}$ , com gancho e região de boa aderência), como  $d$  tem que ser maior, então será adotado  $d=30\text{cm}$  por questões construtivas. O cobrimento total adotado será de 4cm.

$$h = 30 + (4 + 1) = 35\text{cm}$$

ou

$$h \geq \frac{A - a_p}{3} = \frac{100 - 14}{3} = 28,67\text{cm}$$

então a altura adotada será de  $h = 35\text{cm}$ .

$h_o$  será determinado de acordo com as seguintes equações, prevalecendo o maior valor:

$$h_o = h - tg(30) \times c_a = 35 - tg(30) \times 43 = 10,17\text{cm}, \text{ ou}$$

$$h_o = 15\text{cm}, \text{ ou}$$

$$h_o = \frac{h}{3} = \frac{35}{3} = 11,67\text{cm}$$

Como o maior valor é de 15cm, portanto  $h_o = 15\text{cm}$

O ângulo do talude será de:

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{h - h_o}{c_a} = \frac{35 - 15}{43} \Rightarrow \alpha = 24,94^\circ$$

c) Momentos fletores internos solicitantes

Primeiramente deve-se verificar a condição para se utilizar o método do CEB-70:

$$\frac{h}{2} \leq c \leq 2h \Rightarrow 17,5 \leq 43 \leq 70 \Rightarrow OK!$$

Após satisfazer a condição acima, pode-se dar continuidade ao método.

A pressão no solo será:

$$p_d = \frac{V_d}{A \times B} = \frac{1,4 \times 90,90}{100 \times 100} = 0,01272 \text{ kN/cm}^2$$

$$x_A = x_B = c_A + 0,15a_p = 43 + 0,15 \times 14 = 45,1 \text{ cm}$$

O momento na seção de referência será:

$$M_{1A,d} = M_{1B,d} = p_d \times \frac{x_A^2}{2} \times B = 0,01272 \times \frac{45,1^2}{2} \times 100 = 1294,37 \text{ kNcm}$$

d) Área de aço e armaduras

Após ter determinado os momentos fletores internos solicitantes, pode-se calcular a área de aço na sapata conforme:

$$A_{s,A} = A_{s,B} = \frac{M_{1A,d}}{0,85 \times d \times f_{yd}} = \frac{1294,37}{0,85 \times 30 \times 50/1,15} = 1,17 \text{ cm}^2$$

A área mínima de aço deve ser:

$$A_{s,\text{mín}} = 0,0015 \times A \times d = 0,0015 \times 100 \times 30 = 4,5 \text{ cm}^2$$

Aqui foi considerado que caso  $A_{s,A} < A_{s,\text{mín}}$ , por questões de economia pode-se calcular  $2 \times A_{s,A}$  e utilizar como área mínima de aço, portanto:

$$2 \times A_{s,A} = 2,33 \text{ cm}^2$$

Para encontrar a armadura na tabela A-1, deve-se dividir a área calculada pelo lado oposto, pois os valores da tabela são em  $\text{cm}^2/\text{m}$ .

$$\text{Lado A} = \text{Lado B} : \frac{A_{s,A}}{B} = \frac{2,33}{1} = 2,33 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Consultando a tabela A-1 tem a seguinte armadura para essa sapata:

$\emptyset$  8mm c/ 20cm ( $2,5 \text{ cm}^2/\text{m}$ ) para ambos os lados por se tratar de uma sapata quadrada e carga centrada. O espaçamento mínimo utilizado para o detalhamento da fundação foi de 20cm e e barras de aço de 8mm.

e) Verificação da diagonal comprimida

Deve-se satisfazer a condição  $\tau_{sd} < \tau_{Rd,2}$

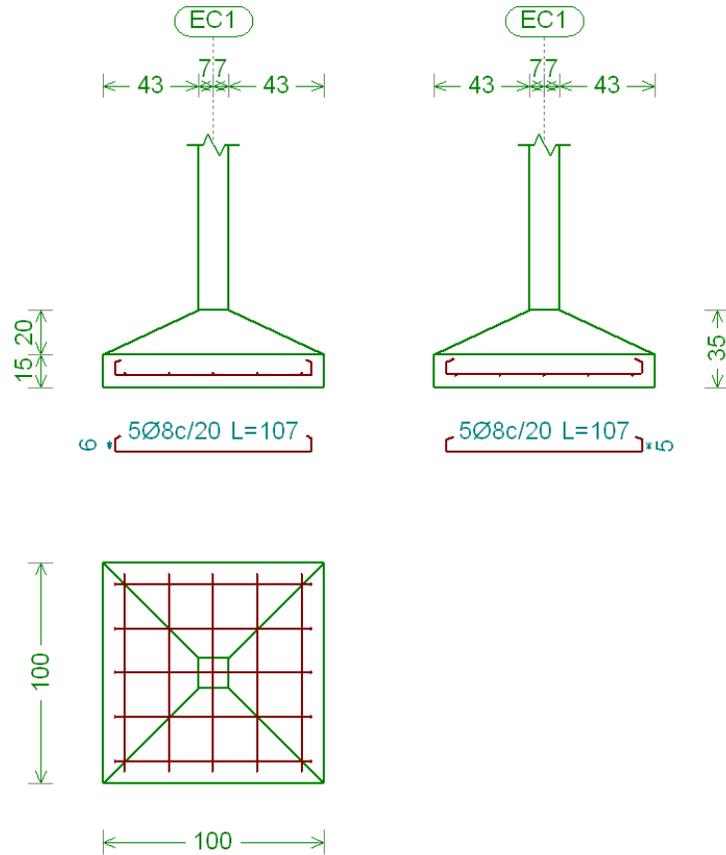
$$\tau_{sd} = \frac{V_d}{(2 \times a_p + 2 \times b_p) \times d} = \frac{90,90 \times 1,4}{(2 \times 14 + 2 \times 14) \times 30} = 0,07575 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{Rd,2} = 0,27 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} = 0,27 \times \left(1 - \frac{25}{250}\right) \times \frac{2,5}{1,4} = 0,434 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{sd} < \tau_{Rd,2} \Rightarrow 0,076 < 0,434 \Rightarrow \text{OK!}$$

Como satisfaz a condição acima, não terá problema de esmagamento do concreto.

Figura 19 – Detalhamento da sapata



Fonte: CYPECAD, after hours

### 3.2. ESTUDO DE CASO 2

Propõe-se aqui refazer o Estudo de Caso 1 pelo método das bielas. Os itens a) e b), são iguais, portanto não serão refeitos aqui com excessão da altura que pelo método das bielas existe uma equação para encontrar o  $d$  (altura útil).

$$d \geq \frac{A - a_p}{4} \Rightarrow d \geq \frac{100 - 14}{4} \Rightarrow d \geq 21,5cm$$

Como o  $d$  encontrado no estudo de caso anterior é maior, então este valor, 30 cm, será utilizado para o cálculo. As forças de tração na base da sapata são:

$$T_x = T_y = \frac{V_k}{8} \times \frac{(A - a_p)}{d} = \frac{90,90}{8} \times \frac{(100 - 14)}{30} = 32,57kN$$

Com a força de tração pode-se determinar a área de aço que pelo método das bielas também diverge, conforme:

$$A_{s,A} = A_{s,B} = \frac{T_{xd}}{f_{yd}} = \frac{32,57 \times 1,4}{50/1,15} = 1,05cm^2$$

Como já mencionado no estudo de caso 1, temos:

$$2 \times A_{s,A} = 2,1cm^2$$

A área de armadura por metro é:

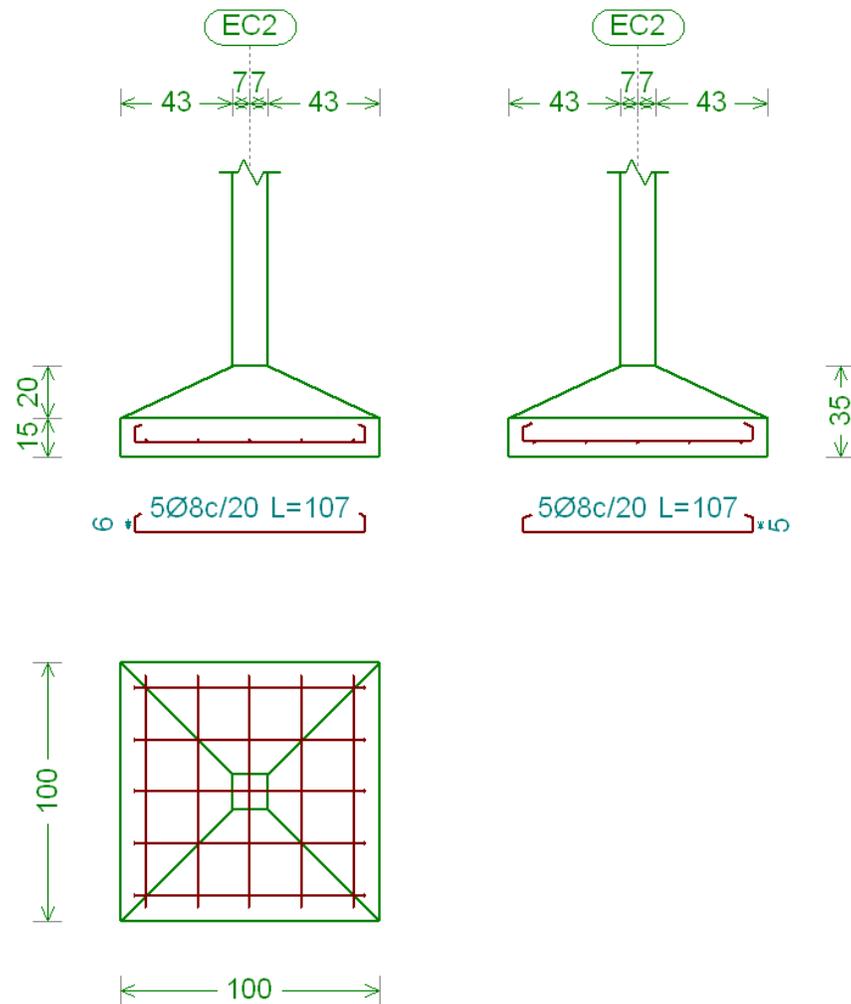
$$\text{Lado A} = \text{Lado B} : \frac{A_{s,A}}{B} = \frac{2,1}{1} = 2,1cm^2/m$$

E a armadura para essa sapata pelo método das bielas é:  $\emptyset$  8mm c/ 20cm (2,5cm<sup>2</sup>/m) para ambos os lados por se tratar de uma sapata quadrada e carga centrada.

Apesar da área de aço por metro pelo método das bielas ser menor que o do CEB-70, ou seja, mais econômico, não alterou o detalhamento da sapata pois ainda ficou abaixo da área mínima por metro de 2,5cm<sup>2</sup>/m aqui determinada.

A verificação da diagonal comprimida já foi realizada no Estudo de Caso 1, portanto não será refeita. O Detalhamento da sapata é apresentado na Figura 20

Figura 20 - Detalhamento da sapata



Fonte: CYPECAD, after hours

### 3.3. ESTUDO DE CASO 3

Agora, que se pretende é determinar a carga excêntrica e o momento fletor que uma sapata quadrada de 1,00 m de lado resiste, sendo a tensão admissível do solo de  $0,01 \text{ kN/cm}^2$ . Determinar também a altura da sapata, os balanços e fazer o detalhamento da armadura na base da sapata. Adotar  $K_{maj} = 1,1$ ,  $K'_{maj} = 1,05$ ,  $f_{ck} = 2,5 \text{ kN/cm}^2$ ,  $\gamma_n = 1,25$ ,  $\gamma_p = 1,4$ ,  $\gamma_s = 1,15$  e considerar a carga excêntrica em uma direção com excentricidade de 10% do lado da sapata. Fazer pelo método do CEB-70.

## a) Carga vertical e momento fletor

Como a excentricidade é de 10%, a força será aplicada dentro do núcleo central de inércia conforme:

$$e < \frac{A}{6} \Rightarrow 10\text{cm} < 16,67\text{cm}$$

Logo a equação a ser utilizada será:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{V_k \times K_{\text{maj}}}{S_{\text{sap}}} + \frac{M}{W} \quad e \quad M = V_k \times e$$

Colocando  $V_k$  em evidência tem:

$$V_k = \frac{\sigma_{\text{máx}} \times A^2 \times B}{K_{\text{maj}} \times A + 6 \times e} = \frac{0,01 \times 100^2 \times 100}{1,1 \times 100 + 6 \times 10} = 58,82\text{kN}$$

E o momento, considerando um  $K'_{\text{maj}} = 1,05$  correspondente ao peso próprio da sapata e do solo é:

$$M = V_k \times e \times K'_{\text{maj}} = 58,82 \times 10 \times 1,05 = 617,65\text{kNcm}$$

## b) Dimensões da sapata

Pré-dimensionamento do pilar:

$$A_c = \frac{V_d}{0,5 \times f_{ck} + 0,4} = \frac{58,82 \times 1,25 \times 1,4}{0,5 \times 2,5 + 0,4} = 62,38\text{cm}^2 = 63\text{cm}^2$$

Portanto os lados do pilar serão:

$$a_p = b_p = \sqrt{63} = 7,94 = 8\text{cm}$$

Os lados mínimos do pilar são 14cm, portanto:

$$a_p = b_p = 14$$

E os balanços da sapata serão:

$$c_a = \frac{A - a_p}{2} = \frac{100 - 14}{2} = 43cm$$

A altura da sapata tem que ser a maior entre:

$$h = d + (c + 1), \text{ onde o valor } d \text{ deve ser maior que } l_b \text{ que se encontra na tabela A-2.}$$

O valor de  $l_b = 26cm$  (considerando barras de aço nervuradas,  $\phi_{pilar} = 10mm$ , com gancho e região de boa aderência), como  $d$  tem que ser maior, então será adotado  $d=30cm$  por questões construtivas. O cobrimento adotado será de  $4cm$ .

$$h = 30 + (4 + 1) = 35cm$$

ou

$$h \geq \frac{A - a_p}{3} = \frac{100 - 14}{3} = 28,67cm$$

então a altura adotada será de  $h = 35cm$ .

$h_o$  será determinado de acordo com as seguintes equações, prevalecendo o maior valor:

$$h_o = h - tg(30) \times c_a = 35 - tg(30) \times 43 = 10,17cm, \text{ ou}$$

$$h_o = 15cm, \text{ ou}$$

$$h_o = \frac{h}{3} = \frac{35}{3} = 11,67cm$$

Como o maior valor é de  $15cm$ , então:  $h_o = 15cm$

O ângulo do talude será de:

$$tg(\alpha) = \frac{h - h_o}{c_a} = \frac{35 - 15}{43} \Rightarrow \alpha = 24,94^\circ$$

### c) Verificação das tensões na base da sapata

As tensões máxima e mínima na base da sapata serão verificadas de acordo com as seguintes expressões:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{V_k \times K_{maj}}{S_{sap}} + \frac{M}{W} = \frac{58,82 \times 1,05}{100 \times 100} + \frac{617,64}{\frac{100 \times 100^2}{6}} = 0,1kN/cm^2$$

$$\sigma_{m\acute{i}n} = \frac{V_k \times K_{maj}}{S_{sap}} - \frac{M}{W} = \frac{58,82 \times 1,05}{100 \times 100} - \frac{617,64}{\frac{100 \times 100^2}{6}} = 0,00247kN/cm^2$$

Ambas as tensões são positivas, isso confirma que a força vertical está aplicada dentro do núcleo central de inércia e a tensão máxima igual a 0,1kN/cm<sup>2</sup> já era prevista pelo fato de o dimensionamento da sapata atingir a máxima resistência do solo (tensão admissível).

d) Verificação ao tombamento da sapata

Quanto a segurança ao tombamento da sapata, o coeficiente de segurança ao tombamento deve ser maior que 1,5 ( $\gamma_{tomb} \geq 1,5$ ). Portanto:

$$M_{estab} = \frac{(V_k + P) \times A}{2} = \frac{(58,82 + 0,1 \times 58,82) \times 100}{2} = 3235,1kNcm$$

$$M_{tomb} = M + F_H \times h = 617,64 + 0 \times 35 = 617,64kNcm$$

$$\gamma_{tomb} = \frac{M_{estab}}{M_{tomb}} \geq 1,5 \Rightarrow \frac{3235,1}{617,64} \geq 1,5 \Rightarrow 5,23 \geq 1,5 \Rightarrow OK!$$

Logo a sapata não corre risco de tombamento.

e) Momentos fletores internos solicitantes

Primeiramente deve-se verificar a condição para se utilizar o método do CEB-70:

$$\frac{h}{2} \leq c \leq 2h \Rightarrow 17,5 \leq 43 \leq 70 \Rightarrow OK!$$

Após satisfazer a condição acima, pode-se dar continuidade ao método.

Será calculada uma nova excentricidade apenas para encontrar as tensões máximas teóricas, que são tensões apenas de calculo para se determinar a área de aço na sapata.

$$e' = \frac{M_d}{V_d} = \frac{1,4 \times 617,64}{1,4 \times 58,82} = 10,5 \text{ cm}$$

As tensões máximas e mínimas teóricas são:

$$\sigma_{máx,d} = \frac{V_d}{S_{sap}} \left( 1 + \frac{6 \times e'}{A} \right) = \frac{1,4 \times 58,82}{100 \times 100} \left( 1 + \frac{6 \times 10,5}{100} \right) = 0,0134 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{mín,d} = \frac{V_d}{S_{sap}} \left( 1 - \frac{6 \times e'}{A} \right) = \frac{1,4 \times 58,82}{100 \times 100} \left( 1 - \frac{6 \times 10,5}{100} \right) = 0,0030 \text{ kN/cm}^2$$

A tensão do solo em  $S_{1A}$  e  $S_{1B}$  será:

$$x_A = x_B = c_A + 0,15a_p = 43 + 0,15 \times 14 = 45,10 \text{ cm}$$

$$p_{1,A} = \sigma_{máx,d} - \left( \frac{\sigma_{máx,d} - \sigma_{mín,d}}{A} \right) \times x_A = 0,0134 - \left( \frac{0,0134 - 0,003}{100} \right) \times 45,1 \\ = 0,0087 \text{ kN/cm}^2$$

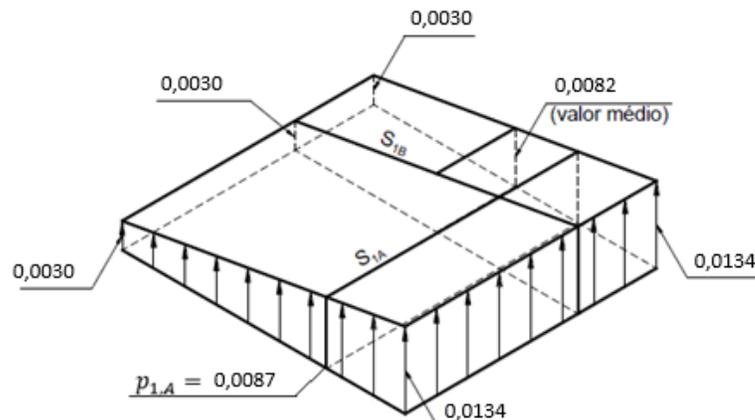
$$P_1 = p_{1,A} \times x_A = 0,0087 \times 45,1 = 0,39 \text{ kN}$$

$$P_2 = \frac{(\sigma_{máx,d} - p_{1,A}) \times x_A}{2} = \frac{(0,0134 - 0,0087) \times 45,1}{2} = 0,106 \text{ kN}$$

$$P_{méd} = \frac{\sigma_{máx,d} + \sigma_{mín,d}}{2} = \frac{0,0134 + 0,0030}{2} = 0,0082 \text{ kN/cm}^2$$

Assim, na Figura 21, são apresentadas as tensões em cada vertice da sapata

Figura 21 - Esquema de reações do solo na base da sapata



Os momentos fletores internos solicitantes serão:

$$M_{1A,d} = \left( P_1 \frac{x_A}{2} + P_2 \frac{4x_A}{6} \right) \times B = \left( 0,39 \frac{45,1}{2} + 0,106 \frac{4 \times 45,1}{6} \right) \times 100$$

$$= 1206,53 \text{ kNcm}$$

$$M_{1B,d} = P_{méd} \frac{x_B^2}{2} A = 0,0082 \times \frac{45,1^2}{2} \times 100 = 837,53 \text{ kNcm}$$

f) Área de aço e armaduras

Após ter encontrado os momentos fletores internos solicitantes, pode-se calcular a área de aço na sapata conforme:

$$A_{s,A} = \frac{M_{1A,d}}{0,85 \times d \times f_{yd}} = \frac{1206,53}{0,85 \times 30 \times 50/1,15} = 1,09 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,B} = \frac{M_{1B,d}}{0,85 \times d \times f_{yd}} = \frac{837,53}{0,85 \times 30 \times 50/1,15} = 0,76 \text{ cm}^2$$

A área mínima de aço deve ser:

$$A_{s,min} = 0,0015 \times A \times d = 0,0015 \times 100 \times 30 = 4,5 \text{ cm}^2$$

Como já mencionado no estudo de caso 1 temos:

$$2 \times A_{s,A} = 2,18 \text{ cm}^2$$

$$2 \times A_{s,B} = 1,51 \text{ cm}^2$$

Para encontrar a armadura na tabela A-1, deve-se dividir a área calculada pelo lado oposto, pois os valores da tabela são em  $\text{cm}^2/\text{m}$ .

$$\text{Lado A : } \frac{A_{s,A}}{B} = \frac{2,18}{1} = 2,18 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Lado B : } \frac{A_{s,B}}{A} = \frac{1,51}{1} = 1,51 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Consultando a tabela tem a seguinte armadura para essa sapata:

Lado A:  $\emptyset$  8mm c/ 20cm (2,5cm<sup>2</sup>/m)

Lado B:  $\emptyset$  8mm c/ 20cm (2,5cm<sup>2</sup>/m)

Apesar de ambos os lados apresentarem as mesmas características geométricas, a armadura muda de acordo com os lados, pois no lado A a sapata deve resistir ao momento fletor que não existe no lado B. Mas como ambos apresentaram armadura menor do que a adotada, neste caso os dois lados terão a mesma área de aço.

g) Verificação da diagonal comprimida

Deve-se satisfazer a condição  $\tau_{Sd} < \tau_{Rd,2}$

$$\tau_{Sd} = \frac{V_d}{(2 \times a_p + 2 \times b_p) \times d} = \frac{58,82 \times 1,4}{(2 \times 14 + 2 \times 14) \times 30} = 0,049 \text{ kN/cm}^2$$

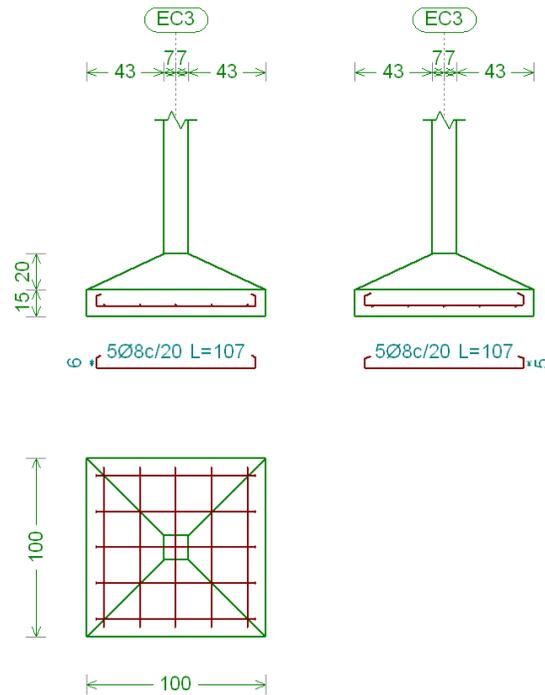
$$\tau_{Rd,2} = 0,27 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} = 0,27 \times \left(1 - \frac{25}{250}\right) \times \frac{2,5}{1,4} = 0,434 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{Sd} < \tau_{Rd,2} \Rightarrow 0,049 < 0,434 \Rightarrow \text{OK!}$$

Como satisfaz a condição acima, não terá problema de esmagamento do concreto.

Por fim na Figura 22 é apresentado o detalhamento das armaduras .

Figura 22 - Detalhamento da sapata



Fonte: CYPECAD, after hours

### 3.4. ESTUDO DE CASO 4

Determinar a carga excêntrica e o momento fletor que uma sapata quadrada de 1,00m de lado resiste, onde a tensão admissível do solo é de  $0,01\text{kN/cm}^2$ , determinar também a altura da sapata, os balanços e fazer o detalhamento da armadura na base da sapata. Adotar  $K_{maj} = 1,1$ ,  $K'_{maj} = 1,05$ ,  $f_{ck} = 2,5\text{kN/cm}^2$ ,  $\gamma_n = 1,25$ ,  $\gamma_p = 1,4$ ,  $\gamma_s = 1,15$  e considerar a carga excêntrica nas duas direções com excentricidade de 10% do lado da sapata. Fazer pelo método do CEB-70.

#### a) Carga vertical e momentos fletores

Como a excentricidade é de 10%, a força será aplicada fora do núcleo central de inércia conforme:

$$\frac{e_x}{A} + \frac{e_y}{B} > \frac{1}{6} \Rightarrow \frac{10}{100} + \frac{10}{100} > \frac{1}{6} \Rightarrow \frac{1}{5} > \frac{1}{6} \Rightarrow 0,2 > 0,1667$$

Logo a equação a ser utilizada será:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sigma_1 = \frac{V_k \times K_{maj}}{S_{sap} \times \gamma_1}, M_x = V_k \times e_x \text{ e } M_y = V_k \times e_y$$

E utilizando o ábaco para determinar  $\alpha, \gamma_1$  e  $\gamma_4$  pode-se determinar a força aplicada na sapata quando a excentricidade for de 10% do lado A.

$$\eta_x = \eta_y = \frac{e_x}{A} = \frac{10}{100} = 0,1$$

Logo  $\alpha = 45^\circ$ ,  $\gamma_1 = 0,465$  e  $\gamma_4 = 0,9$

Colocando  $V_k$  em evidência tem:

$$V_k = \frac{S_{sap} \times \gamma_1 \times \sigma_{m\acute{a}x}}{K_{maj}}$$

$$V_k = \frac{100 \times 100 \times 0,465 \times 0,01}{1,1} = 42,27kN$$

E o momento, considerando um  $K'_{maj} = 1,05$  correspondente ao peso próprio da sapata e do solo é:

$$M_x = M_y = V_k \times e_x \times K'_{maj} = 42,27 \times 10 \times 1,05 = 443,86kNcm$$

b) Dimensões da sapata

Pré-dimensionamento do pilar:

$$A_c = \frac{V_d}{0,5 \times f_{ck} + 0,4} = \frac{42,27 \times 1,25 \times 1,4}{0,5 \times 2,5 + 0,4} = 44,83cm^2 = 45cm^2$$

Portanto os lados do pilar serão:

$$a_p = b_p = \sqrt{45} = 6,71 = 7cm$$

Como as dimensões mínimas do pilar devem ser 14cm, então:

$$a_p = b_p = 14cm$$

E os balanços da sapata serão:

$$c_a = \frac{A - a_p}{2} = \frac{100 - 14}{2} = 43cm$$

A altura da sapata tem que ser a maior entre:

$$h = d + (c + 1), \text{ onde o valor } d \text{ deve ser maior que } l_b \text{ que se encontra na tabela A-2.}$$

O valor de  $l_b = 26cm$  (considerando barras de aço nervuradas,  $\emptyset_{pilar} = 10mm$ , com gancho e região de boa aderência), como  $d$  tem que ser maior, então será adotado  $d=30cm$  por questões construtivas. O cobrimento adotado será de  $4cm$ .

$$h = 30 + (4 + 1) = 35cm$$

ou

$$h \geq \frac{A - a_p}{3} = \frac{100 - 14}{3} = 28,67cm$$

então a altura adotada será de  $h = 35cm$ .

$h_o$  será determinado de acordo com as seguintes equações, prevalecendo o maior valor:

$$h_o = h - tg(30) \times c_a = 35 - tg(30) \times 43 = 10,17cm, \text{ ou}$$

$$h_o = 15cm, \text{ ou}$$

$$h_o = \frac{h}{3} = \frac{35}{3} = 11,67cm$$

Como o maior valor é de  $15cm$ , então:  $h_o = 15cm$

O ângulo do talude será de:

$$tg(\alpha) = \frac{h - h_o}{c_a} = \frac{35 - 15}{43} \Rightarrow \alpha = 24,94^\circ$$

c) Verificação das tensões na base da sapata

As tensões na base da sapata (figura 18) serão verificadas de acordo com as seguintes expressões:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sigma_1 = \frac{V_k \times K_{maj}}{S_{sap} \times \gamma_1} = \frac{42,27 \times 1,1}{100 \times 100 \times 0,465} = 0,01kN/cm^2$$

Onde a tensão máxima tem que ser menor ou igual a tensão admissível do solo multiplicado por 1,3:

$$\sigma_1 \leq 1,3\sigma_{adm} \Rightarrow 0,1 \leq 0,13 \Rightarrow OK!$$

$$\sigma_{m\acute{i}n} = \sigma_4 = -\sigma_{m\acute{a}x} \times \gamma_4 = -0,01 \times 0,9 = -0,009kN/cm^2$$

$$\begin{aligned} \sigma_2 = \sigma_1 - (\sigma_1 - \sigma_4) \times \frac{\text{sen}\alpha}{\text{sen}\alpha + \text{cos}\alpha} &= 0,01 - (0,01 + 0,009) \times \frac{\text{sen}45}{\text{sen}45 + \text{cos}45} \\ &= 0,0005kN/cm^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_3 = \sigma_1 - (\sigma_1 - \sigma_4) \times \frac{\text{sen}\alpha}{\text{sen}\alpha + \text{cos}\alpha} &= 0,01 - (0,01 + 0,009) \times \frac{\text{cos}45}{\text{sen}45 + \text{cos}45} \\ &= 0,0005kN/cm^2 \end{aligned}$$

Como existe uma tensão negativa, isso significa que a carga não está aplicada dentro do núcleo central de inércia como já foi verificado no início do item a.

d) Verificação ao tombamento da sapata

Quanto a segurança ao tombamento da sapata, o coeficiente de segurança ao tombamento deve ser maior que 1,5 ( $\gamma_{tomb} \geq 1,5$ ). Portanto:

$$M_{estab} = \frac{(V_k + P) \times A}{2} = \frac{(42,27 + 0,1 \times 42,27) \times 100}{2} = 2324,85kNcm$$

$$M_{tomb} = M + F_H \times h = 443,86 + 0 \times 35 = 443,86kNcm$$

$$\gamma_{tomb} = \frac{M_{estab}}{M_{tomb}} \geq 1,5 \Rightarrow \frac{2324,85}{443,86} \geq 1,5 \Rightarrow 5,23 \geq 1,5 \Rightarrow OK!$$

Logo a sapata não correrá risco de tombamento.

e) Momentos fletores internos solicitantes

Primeiramente deve-se verificar a condição para se utilizar o método do CEB-70:

$$\frac{h}{2} \leq c \leq 2h \Rightarrow 17,5 \leq 43 \leq 70 \Rightarrow OK!$$

Após satisfazer a condição acima, pode-se dar continuidade ao método.

O recomendado é que a tensão de referência seja a maior entre dois terços da tensão máxima ou maior que a média de todas as tensões conforme:

$$\sigma_{ref} \geq \frac{2}{3} \sigma_{m\acute{a}x} \quad \text{ou} \quad \sigma_{ref} \geq \sigma_{m\acute{e}d}$$

Mas por questões de segurança, a tensão aqui utilizada será a média entre as duas maiores tensões. Como a sapata é quadrada e a carga está aplicada na mesma distância ( $e_x = e_y$ ), as tensões e os momentos fletores internos serão iguais tanto para o lado A como para o lado B.

$$\sigma_{ref} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = \frac{0,01 + 0,0005}{2} = 0,00525 kN/cm^2$$

Os momentos fletores internos solicitantes  $S_{1A}$  e  $S_{1B}$  serão:

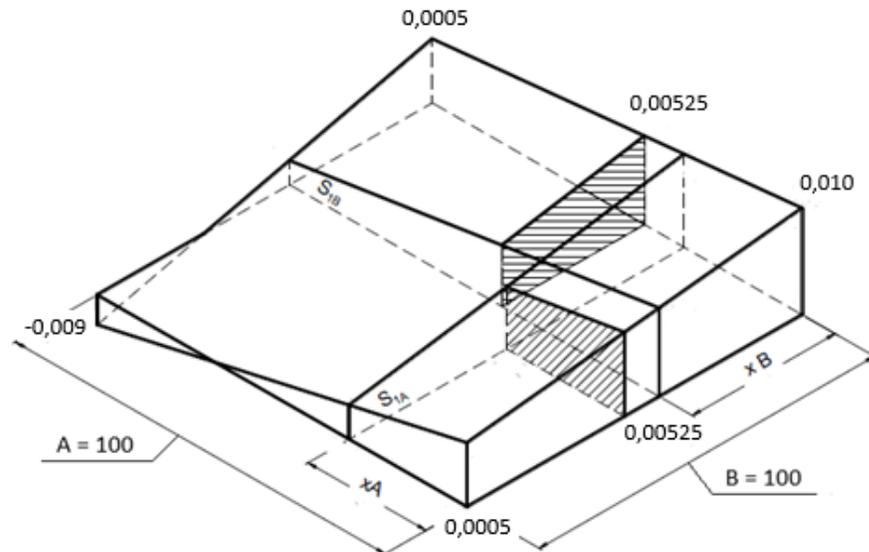
$$p = \sigma_{ref} = 0,00525 kN/cm^2$$

$$x_A = x_B = c_A + 0,15a_p = 43 + 0,15 \times 14 = 45,1 cm$$

$$M_{1A} = M_{1B} = \frac{p \times x_A^2 \times B}{2} = \frac{0,00525 \times 45,1^2 \times 100}{2} = 533,94 kNcm$$

$$M_{1A,d} = M_{1B,d} = 1,4 \times 533,94 = 747,51 kNcm$$

Figura 23 - Esquema de reações do solo na base da sapata



Fonte: BASTOS, 2016, p. 62, editado pelo autor

#### f) Área de aço e armaduras

Após ter encontrado os momentos fletores internos solicitantes, pode-se calcular a área de aço na sapata conforme:

$$A_{s,A} = A_{s,B} = \frac{M_{1A,d}}{0,85 \times d \times f_{yd}} = \frac{747,51}{0,85 \times 30 \times 50/1,15} = 0,67 \text{ cm}^2$$

A área mínima de aço deve ser:

$$A_{s,\text{mín}} = 0,0015 \times A \times d = 0,0015 \times 100 \times 30 = 4,5 \text{ cm}^2$$

Como já mencionado no estudo de caso 1, temos:

$$2 \times A_{s,A} = 2 \times A_{s,B} = 1,35 \text{ cm}^2$$

Para encontrar a armadura na tabela A-1, deve-se dividir a área calculada pelo lado oposto, pois os valores da tabela são em  $\text{cm}^2/\text{m}$ .

$$\text{Lado A} = \text{Lado B} : \frac{A_{s,A}}{B} = \frac{1,35}{1} = 1,35 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Consultando a tabela e considerando a taxa de armadura mínima:

$$\text{Lado A} = \text{Lado B} : \emptyset 8,0\text{mm c/ 20cm (2,5cm}^2/\text{m)}$$

g) Verificação da diagonal comprimida

Deve-se satisfazer a condição  $\tau_{sd} < \tau_{Rd,2}$

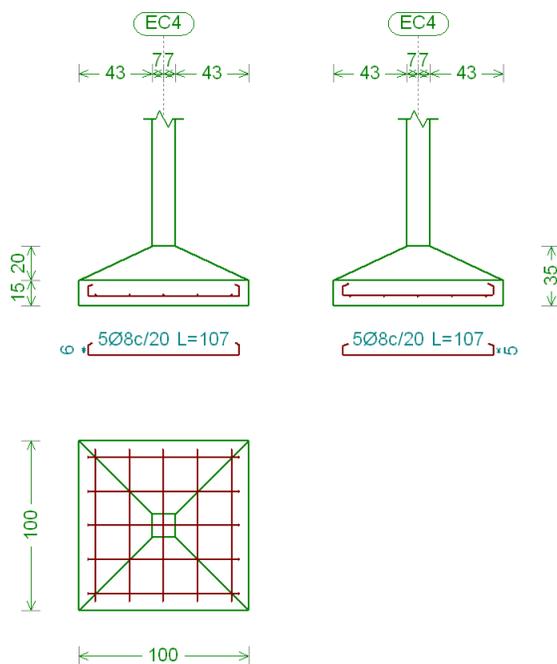
$$\tau_{sd} = \frac{V_d}{(2 \times a_p + 2 \times b_p) \times d} = \frac{42,27 \times 1,4}{(2 \times 14 + 2 \times 14) \times 30} = 0,035 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{Rd,2} = 0,27 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} = 0,27 \times \left(1 - \frac{25}{250}\right) \times \frac{2,5}{1,4} = 0,434 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{sd} < \tau_{Rd,2} \Rightarrow 0,035 < 0,434 \Rightarrow \text{OK!}$$

Como satisfaz a condição acima, não terá problema de esmagamento do concreto.

Figura 24 - Detalhamento da sapata



Fonte: CYPECAD, after hours

### 3.5. RESUMO DOS ESTUDOS DE CASO

Como uma forma de melhorar a percepção dos resultados, foi elaborado uma tabela que resume os resultados obtidos em cada caso. Na tabela 1, pode-se observar que a área de aço por metro utilizando o método das bielas para cargas centradas se mostrou mais econômica quando comparado ao CEB 1970 também para carga centrada.

No estudo de caso 3, observou que na direção A necessitou mais armadura do que na direção B, sendo um resultado esperado pois a armadura nessa direção foi calculada para que resistisse não apenas ao esforço da carga concentrada, mas também ao momento atuante gerado pela excentricidade. No estudo de caso 4 a armadura foi igual para as duas direções, isso devido aos momentos atuantes que estão atuando em ambos os lados e são de mesmo valor.

Tabela 1 – Resumo dos estudos de caso

	Carga centrada - CEB 70	Carga centrada - Met. das bielas	Excentricidade de 10% de A em x	Excentricidade de 10% de A em x e y
$V_k$ (kN)	90,91	90,91	58,82	42,27
$M_x$ (kNcm)	-	-	617,65	443,86
$M_y$ (kNcm)	-	-	-	443,86
$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14
$c_a$ (cm)	43	43	43	43
$h$ (cm)	35	35	35	35
$h_o$ (cm)	15	15	15	15
$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	2,33	2,10	2,18	1,35
$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	2,33	2,10	1,51	1,35

## 4 RESULTADOS

Como resultado dos estudos de caso realizados no Capítulo 3, foram elaboradas tabelas e ábacos de forma a auxiliar no dimensionamentos de novas sapatas de uma maneira fácil e prática pois, constam todos os dados necessários de sapatas tais como a sua geometria, cargas concentradas, momentos, resistência do concreto, tensão admissível do solo entre outros parâmetros.

Todo o trabalho foi desenvolvido e realizado com planilhas eletrônicas, os exemplos aqui descritos servem como orientação de como foi calculada a sapata em cada situação e também para comparar com os resultados do CYPECAD, after hours. O critério utilizado na escolha dos diâmetros das armaduras e seus espaçamentos foi de no mínimo barras de 8mm espaçadas no máximo a cada 20cm, mesmo que a sua área de aço necessária fosse menor.

Nas tabelas foram incluídos alguns dados no rodapé, tais como o  $K_{maj}$ ,  $f_{ck}$ ,  $\gamma_s$ , etc. visto que são dados necessários para se chegar aos valores obtidos. Ao todo, foram elaboradas 10 tabelas entre cargas concentradas e excêntricas com o intuito de abranger uma maior faixa de valores em que possam ser consultadas. Para se consultar as tabelas, deve entrar com os valores das tensões admissíveis do solo e a carga que atua, considerando se existe excentricidade ou não, com isso obterá as dimensões da sapata e a área de aço por metro.

Os ábacos, foram obtidos através dos dados das tabelas, onde os parâmetros são a tensão admissível do solo, carga concentrada e momentos fletores. Os ábacos auxiliarão apenas em valores que não possam ser encontrados nas tabelas de uma maneira mais prática, pois os parâmetros apresentam uma relação linear, podendo ser utilizados através de interpolações. Também pode-se observar a linearidade entre as relações ao se alterar um valor.

Os resultados do CYPECAD podem ser encontrados no apêndice C, onde está o memorial dos quatro estudos de caso discutidos aqui e os detalhamentos realizados automaticamente pelo próprio programa em cada exemplo.

Por fim, foi realizado uma análise entre os resultados dos estudos de caso com os obtidos com o CYPECAD, onde se comparou os custos de concreto e de armadura para a execução em cada situação.

## 4.1. TABELAS

Tabela 2 – Sapata com carga centrada método do CEB-70

Tensão admissível do solo	Sapata com carga centrada método do CEB-70							
	A x B (cm)	60 x 60	70 x 70	80 x 80	90 x 90	100 x 100	110 x 110	120 x 120
$\sigma_{adm} = 0,005\text{kN/cm}^2$	V <sub>k</sub> (kN)	16,4	22,3	29,1	36,8	45,5	55,0	65,5
	a <sub>p</sub> = b <sub>p</sub> (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	c <sub>a</sub> (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	h (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	h <sub>o</sub> (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	A <sub>s</sub> /A (cm <sup>2</sup> /m)	0,36	0,52	0,71	0,92	1,17	1,44	1,74
$\sigma_{adm} = 0,010\text{kN/cm}^2$	V <sub>k</sub> (kN)	32,7	44,5	58,2	73,6	90,9	110,0	130,9
	a <sub>p</sub> = b <sub>p</sub> (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	c <sub>a</sub> (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	h (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	h <sub>o</sub> (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	A <sub>s</sub> /A (cm <sup>2</sup> /m)	0,72	1,04	1,41	1,85	2,33	2,88	3,49
$\sigma_{adm} = 0,015\text{kN/cm}^2$	V <sub>k</sub> (kN)	49,1	66,8	87,3	110,5	136,4	165,0	196,4
	a <sub>p</sub> = b <sub>p</sub> (cm)	14	14	14	14	14	14	15
	c <sub>a</sub> (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	h (cm)	35	35	35	35	35	35	35
	h <sub>o</sub> (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	A <sub>s</sub> /A (cm <sup>2</sup> /m)	1,08	1,56	2,12	2,77	3,50	4,32	4,50
$\sigma_{adm} = 0,020\text{kN/cm}^2$	V <sub>k</sub> (kN)	65,5	89,1	116,4	147,3	181,8	220,0	261,8
	a <sub>p</sub> = b <sub>p</sub> (cm)	14	14	14	14	14	16	17
	c <sub>a</sub> (cm)	23	28	33	38	43	47	52
	h (cm)	35	35	35	35	35	35	35
	h <sub>o</sub> (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	A <sub>s</sub> /A (cm <sup>2</sup> /m)	1,45	2,08	2,83	3,69	4,50	4,50	4,50
De acordo com a NBR 6118-2014 e NBR 6122-2010								
Dados utilizados para elaboração da tabela: $\gamma_s = 1,15$ ; $\gamma_c = 1,40$ ; $\gamma_n = 1,25$ ; $f_{ck} = 2,5\text{kN/cm}^2$ e $K_{maj} = 1,1$								

Tabela 3 - Sapatas com carga centrada método das bielas

Tensão admissível do solo	Sapata com carga centrada método das bielas							
	A x B (cm)	60 x 60	70 x 70	80 x 80	90 x 90	100 x 100	110 x 110	120 x 120
$\sigma_{adm} = 0,005\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	16,4	22,3	29,1	36,8	45,5	55,0	65,5
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_s/A$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,34	0,48	0,64	0,83	1,05	1,29	1,55
$\sigma_{adm} = 0,010\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	32,7	44,5	58,2	73,6	90,9	110,0	130,9
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_s/A$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,67	0,96	1,29	1,67	2,10	2,58	3,10
$\sigma_{adm} = 0,015\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	49,1	66,8	87,3	110,5	136,4	165,0	196,4
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	15
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	35
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_s/A$ (cm <sup>2</sup> /m)	1,01	1,43	1,93	2,50	3,15	3,86	4,50
$\sigma_{adm} = 0,020\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	65,5	89,1	116,4	147,3	181,8	220,0	261,8
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	16	17
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	47	52
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	35
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_s/A$ (cm <sup>2</sup> /m)	1,35	1,91	2,58	3,34	4,20	4,50	4,50

De acordo com a NBR 6118-2014 e NBR 6122-2010

Dados utilizados para elaboração da tabela:  $\gamma_s = 1,15$  ;  $\gamma_c = 1,40$  ;  $\gamma_n = 1,25$  ;  $f_{ck} = 2,5\text{kN/cm}^2$  e  $K_{maj} = 1,1$

Tabela 4 - Sapatas com carga excêntrica de 5% de A

Tensão admissível do solo	Sapata com carga excêntrica de 5% de A							
	A x B (cm)	60 x 60	70 x 70	80 x 80	90 x 90	100 x 100	110 x 110	120 x 120
$\sigma_{adm} = 0,005\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	12,9	17,5	22,9	28,9	35,7	43,2	51,4
	$M$ (kNcm)	40,5	64,3	96,0	136,7	187,5	249,6	324,0
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,35	0,50	0,68	0,89	1,12	1,38	1,67
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,28	0,41	0,56	0,73	0,92	1,13	1,37
$\sigma_{adm} = 0,010\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	25,7	35,0	45,7	57,9	71,4	86,4	102,9
	$M$ (kNcm)	81,0	128,6	192,0	273,4	375,0	499,1	648,0
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,70	1,00	1,36	1,77	2,24	2,76	3,34
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,57	0,82	1,11	1,45	1,83	2,26	2,74
$\sigma_{adm} = 0,015\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	38,6	52,5	68,6	86,8	107,1	129,6	154,3
	$M$ (kNcm)	121,5	192,9	288,0	410,1	562,5	748,7	972,0
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	1,05	1,50	2,04	2,66	3,36	4,14	4,50
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,85	1,23	1,67	2,18	2,75	3,40	4,11
$\sigma_{adm} = 0,020\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	51,4	70,0	91,4	115,7	142,9	172,9	205,7
	$M$ (kNcm)	162,0	257,3	384,0	546,8	750,0	998,3	1296,0
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	15
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	35
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	1,39	2,00	2,72	3,54	4,48	4,50	4,50
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	1,14	1,63	2,22	2,90	3,67	4,50	4,50

De acordo com a NBR 6118-2014 e NBR 6122-2010  
 Dados utilizados para elaboração da tabela:  $\gamma_s = 1,15$  ;  $\gamma_c = 1,40$  ;  $\gamma_n = 1,25$  ;  $f_{ck} = 2,5\text{kN/cm}^2$  e  $K_{maj} = 1,1$

Tabela 5 - Sapatas com carga excêntrica de 10% de A

Tensão admissível do solo	Sapata com carga excêntrica de 10% de A							
	A x B (cm)	60 x 60	70 x 70	80 x 80	90 x 90	100 x 100	110 x 110	120 x 120
$\sigma_{adm} = 0,005\text{kN/cm}^2$	V <sub>k</sub> (kN)	10,6	14,4	18,8	23,8	29,4	35,6	42,4
	M (kNcm)	66,7	105,9	158,1	225,1	308,8	411,0	533,6
	a <sub>p</sub> = b <sub>p</sub> (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	c <sub>a</sub> (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	h (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	h <sub>o</sub> (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	A <sub>s,A/B</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	0,34	0,49	0,66	0,86	1,09	1,34	1,62
	A <sub>s,B/A</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	0,23	0,34	0,46	0,60	0,76	0,93	1,13
$\sigma_{adm} = 0,010\text{kN/cm}^2$	V <sub>k</sub> (kN)	21,2	28,8	37,6	47,6	58,8	71,2	84,7
	M (kNcm)	133,4	211,9	316,2	450,3	617,6	822,1	1067,3
	a <sub>p</sub> = b <sub>p</sub> (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	c <sub>a</sub> (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	h (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	h <sub>o</sub> (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	A <sub>s,A/B</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	0,68	0,98	1,32	1,72	2,18	2,68	3,24
	A <sub>s,B/A</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	0,47	0,67	0,92	1,19	1,51	1,86	2,26
$\sigma_{adm} = 0,015\text{kN/cm}^2$	V <sub>k</sub> (kN)	31,8	43,2	56,5	71,5	88,2	106,8	127,1
	M (kNcm)	200,1	317,8	474,4	675,4	926,5	1233,1	1600,9
	a <sub>p</sub> = b <sub>p</sub> (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	c <sub>a</sub> (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	h (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	h <sub>o</sub> (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	A <sub>s,A/B</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	1,02	1,46	1,98	2,59	3,26	4,02	4,50
	A <sub>s,B/A</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	0,70	1,01	1,37	1,79	2,27	2,80	3,38
$\sigma_{adm} = 0,020\text{kN/cm}^2$	V <sub>k</sub> (kN)	42,4	57,6	75,3	95,3	117,6	142,4	169,4
	M (kNcm)	266,8	423,7	632,5	900,5	1235,3	1644,2	2134,6
	a <sub>p</sub> = b <sub>p</sub> (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	c <sub>a</sub> (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	h (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	h <sub>o</sub> (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	A <sub>s,A/B</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	1,36	1,95	2,65	3,45	4,35	4,50	4,50
	A <sub>s,B/A</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	0,94	1,35	1,83	2,39	3,02	3,73	4,50

De acordo com a NBR 6118-2014 e NBR 6122-2010  
 Dados utilizados para elaboração da tabela:  $\gamma_s = 1,15$  ;  $\gamma_c = 1,40$  ;  $\gamma_n = 1,25$  ;  $f_{ck} = 2,5\text{kN/cm}^2$  e  $K_{maj} = 1,1$

Tabela 6 - Sapatas com carga excêntrica de 15% de A

Tensão admissível do solo	Sapata com carga excêntrica de 15% de A							
	A x B (cm)	60 x 60	70 x 70	80 x 80	90 x 90	100 x 100	110 x 110	120 x 120
$\sigma_{adm} = 0,005\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	9,0	12,3	16,0	20,3	25,0	30,3	36,0
	$M$ (kNcm)	85,1	135,1	201,6	287,0	393,8	524,1	680,4
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,33	0,48	0,65	0,84	1,07	1,31	1,59
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,20	0,29	0,39	0,51	0,64	0,79	0,96
$\sigma_{adm} = 0,010\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	18,0	24,5	32,0	40,5	50,0	60,5	72,0
	$M$ (kNcm)	170,1	270,1	403,2	574,1	787,5	1048,2	1360,8
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,67	0,96	1,30	1,69	2,13	2,63	3,17
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,40	0,57	0,78	1,02	1,28	1,58	1,92
$\sigma_{adm} = 0,015\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	27,0	36,8	48,0	60,8	75,0	90,8	108,0
	$M$ (kNcm)	255,2	405,2	604,8	861,1	1181,3	1572,2	2041,2
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	1,00	1,44	1,95	2,53	3,20	3,94	4,50
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,60	0,86	1,17	1,52	1,93	2,38	2,88
$\sigma_{adm} = 0,020\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	36,0	49,0	64,0	81,0	100,0	121,0	144,0
	$M$ (kNcm)	340,2	540,2	806,4	1148,2	1575,0	2096,3	2721,6
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	1,34	1,92	2,60	3,38	4,27	4,50	4,50
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,80	1,14	1,56	2,03	2,57	3,17	3,83

De acordo com a NBR 6118-2014 e NBR 6122-2010  
 Dados utilizados para elaboração da tabela:  $\gamma_s = 1,15$  ;  $\gamma_c = 1,40$  ;  $\gamma_n = 1,25$  ;  $f_{ck} = 2,5\text{kN/cm}^2$  e  $K_{maj} = 1,1$

Tabela 7 - Sapatas com carga excêntrica de 30% de A

Tensão admissível do solo	Sapata com carga excêntrica de 30% de A							
	A x B (cm)	60 x 60	70 x 70	80 x 80	90 x 90	100 x 100	110 x 110	120 x 120
$\sigma_{adm} = 0,005\text{kN/cm}^2$	V <sub>k</sub> (kN)	5,4	7,4	9,6	12,2	15,0	18,2	21,6
	M (kNcm)	102,1	162,1	241,9	344,5	472,5	628,9	816,5
	a <sub>p</sub> = b <sub>p</sub> (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	c <sub>a</sub> (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	h (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	h <sub>o</sub> (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	A <sub>s,A</sub> /B (cm <sup>2</sup> /m)	0,28	0,40	0,55	0,71	0,89	1,10	1,33
	A <sub>s,B</sub> /A (cm <sup>2</sup> /m)	0,12	0,17	0,23	0,30	0,39	0,48	0,58
$\sigma_{adm} = 0,010\text{kN/cm}^2$	V <sub>k</sub> (kN)	10,8	14,7	19,2	24,3	30,0	36,3	43,2
	M (kNcm)	204,1	324,1	483,8	688,9	945,0	1257,8	1633,0
	a <sub>p</sub> = b <sub>p</sub> (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	c <sub>a</sub> (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	h (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	h <sub>o</sub> (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	A <sub>s,A</sub> /B (cm <sup>2</sup> /m)	0,56	0,81	1,09	1,42	1,79	2,20	2,66
	A <sub>s,B</sub> /A (cm <sup>2</sup> /m)	0,24	0,34	0,47	0,61	0,77	0,95	1,15
$\sigma_{adm} = 0,015\text{kN/cm}^2$	V <sub>k</sub> (kN)	16,2	22,1	28,8	36,5	45,0	54,5	64,8
	M (kNcm)	306,2	486,2	725,8	1033,4	1417,5	1886,7	2449,4
	a <sub>p</sub> = b <sub>p</sub> (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	c <sub>a</sub> (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	h (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	h <sub>o</sub> (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	A <sub>s,A</sub> /B (cm <sup>2</sup> /m)	0,85	1,21	1,64	2,13	2,68	3,30	3,99
	A <sub>s,B</sub> /A (cm <sup>2</sup> /m)	0,36	0,51	0,70	0,91	1,16	1,43	1,73
$\sigma_{adm} = 0,020\text{kN/cm}^2$	V <sub>k</sub> (kN)	21,6	29,4	38,4	48,6	60,0	72,6	86,4
	M (kNcm)	408,2	648,3	967,7	1377,8	1890,0	2515,6	3265,9
	a <sub>p</sub> = b <sub>p</sub> (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	c <sub>a</sub> (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	h (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	h <sub>o</sub> (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	A <sub>s,A</sub> /B (cm <sup>2</sup> /m)	1,13	1,61	2,18	2,84	3,58	4,40	4,50
	A <sub>s,B</sub> /A (cm <sup>2</sup> /m)	0,48	0,69	0,93	1,22	1,54	1,90	2,30

De acordo com a NBR 6118-2014 e NBR 6122-2010  
 Dados utilizados para elaboração da tabela:  $\gamma_s = 1,15$  ;  $\gamma_c = 1,40$  ;  $\gamma_n = 1,25$  ;  $f_{ck} = 2,5\text{kN/cm}^2$  e  $K_{maj} = 1,1$

Tabela 8 - Sapatas com carga oblíqua de 5% de A e B

Tensão admissível do solo	Sapata com carga oblíqua de 5% de A e B							
	A x B (cm)	60 x 60	70 x 70	80 x 80	90 x 90	100 x 100	110 x 110	120 x 120
$\sigma_{adm} = 0,005\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	10,6	14,4	18,8	23,8	29,4	35,6	42,4
	$M_x = M_y$ (kNcm)	33,4	53,0	79,1	112,6	154,4	205,5	266,8
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,31	0,44	0,60	0,79	0,99	1,23	1,48
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,31	0,44	0,60	0,79	0,99	1,23	1,48
$\sigma_{adm} = 0,010\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	21,2	28,8	37,6	47,6	58,8	71,2	84,7
	$M_x = M_y$ (kNcm)	66,7	105,9	158,1	225,1	308,8	411,0	533,6
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,62	0,88	1,20	1,57	1,99	2,45	2,97
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,62	0,88	1,20	1,57	1,99	2,45	2,97
$\sigma_{adm} = 0,015\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	31,8	43,2	56,5	71,5	88,2	106,8	127,1
	$M_x = M_y$ (kNcm)	100,1	158,9	237,2	337,7	463,2	616,6	800,5
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,92	1,33	1,81	2,36	2,98	3,68	4,45
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,92	1,33	1,81	2,36	2,98	3,68	4,45
$\sigma_{adm} = 0,020\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	42,4	57,6	75,3	95,3	117,6	142,4	169,4
	$M_x = M_y$ (kNcm)	133,4	211,9	316,2	450,3	617,6	822,1	1067,3
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	1,23	1,77	2,41	3,14	3,97	4,50	4,50
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	1,23	1,77	2,41	3,14	3,97	4,50	4,50

De acordo com a NBR 6118-2014 e NBR 6122-2010  
 Dados utilizados para elaboração da tabela:  $\gamma_s = 1,15$  ;  $\gamma_c = 1,40$  ;  $\gamma_n = 1,25$  ;  $f_{ck} = 2,5\text{kN/cm}^2$  e  $K_{maj} = 1,1$

Tabela 9 - Sapatas com carga oblíqua de 10% de A e B

Tensão admissível do solo	Sapata com carga oblíqua de 10% de A e B							
	A x B (cm)	60 x 60	70 x 70	80 x 80	90 x 90	100 x 100	110 x 110	120 x 120
$\sigma_{adm} = 0,005\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	7,6	10,4	13,5	17,1	21,1	25,6	30,4
	$M_x = M_y$ (kNcm)	47,9	76,1	113,6	161,8	221,9	295,4	383,5
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,21	0,30	0,41	0,53	0,67	0,83	1,01
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,21	0,30	0,41	0,53	0,67	0,83	1,01
$\sigma_{adm} = 0,010\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	15,2	20,7	27,1	34,2	42,3	51,2	60,9
	$M_x = M_y$ (kNcm)	95,9	152,2	227,3	323,6	443,9	590,8	767,0
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,42	0,60	0,82	1,07	1,35	1,66	2,01
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,42	0,60	0,82	1,07	1,35	1,66	2,01
$\sigma_{adm} = 0,015\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	22,8	31,1	40,6	51,4	63,4	76,7	91,3
	$M_x = M_y$ (kNcm)	143,8	228,4	340,9	485,4	665,8	886,2	1150,5
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,63	0,90	1,23	1,60	2,02	2,50	3,02
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,63	0,90	1,23	1,60	2,02	2,50	3,02
$\sigma_{adm} = 0,020\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	30,4	41,4	54,1	68,5	84,5	102,3	121,7
	$M_x = M_y$ (kNcm)	191,7	304,5	454,5	647,2	887,7	1181,6	1534,0
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,84	1,20	1,63	2,13	2,70	3,33	4,03
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,84	1,20	1,63	2,13	2,70	3,33	4,03

De acordo com a NBR 6118-2014 e NBR 6122-2010  
 Dados utilizados para elaboração da tabela:  $\gamma_s = 1,15$ ;  $\gamma_c = 1,40$ ;  $\gamma_n = 1,25$ ;  $f_{ck} = 2,5\text{kN/cm}^2$  e  $K_{maj} = 1,1$

Tabela 10 - Sapatas com carga oblíqua de 15% de A e B

Tensão admissível do solo	Sapata com carga oblíqua de 15% de A e B							
	A x B (cm)	60 x 60	70 x 70	80 x 80	90 x 90	100 x 100	110 x 110	120 x 120
$\sigma_{adm} = 0,005\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	5,6	7,6	9,9	12,5	15,5	18,7	22,3
	$M_x = M_y$ (kNcm)	52,6	83,5	124,6	177,4	243,4	324,0	420,6
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,26	0,38	0,51	0,67	0,85	1,05	1,27
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,26	0,38	0,51	0,67	0,85	1,05	1,27
$\sigma_{adm} = 0,010\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	11,1	15,1	19,8	25,0	30,9	37,4	44,5
	$M_x = M_y$ (kNcm)	105,2	167,0	249,3	354,9	486,8	648,0	841,2
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,53	0,76	1,03	1,34	1,70	2,09	2,53
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,53	0,76	1,03	1,34	1,70	2,09	2,53
$\sigma_{adm} = 0,015\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	16,7	22,7	29,7	37,6	46,4	56,1	66,8
	$M_x = M_y$ (kNcm)	157,7	250,5	373,9	532,3	730,2	971,9	1261,8
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,79	1,13	1,54	2,01	2,54	3,14	3,80
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,79	1,13	1,54	2,01	2,54	3,14	3,80
$\sigma_{adm} = 0,020\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	22,3	30,3	39,6	50,1	61,8	74,8	89,0
	$M_x = M_y$ (kNcm)	210,3	334,0	498,5	709,8	973,6	1295,9	1682,4
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	1,05	1,51	2,05	2,68	3,39	4,18	4,50
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	1,05	1,51	2,05	2,68	3,39	4,18	4,50

De acordo com a NBR 6118-2014 e NBR 6122-2010  
 Dados utilizados para elaboração da tabela:  $\gamma_s = 1,15$ ;  $\gamma_c = 1,40$ ;  $\gamma_n = 1,25$ ;  $f_{ck} = 2,5\text{kN/cm}^2$  e  $K_{maj} = 1,1$

Tabela 11 - Sapatas com carga oblíqua de 30% de A e B

Tensão admissível do solo	Sapata com carga oblíqua de 30% de A e B							
	A x B (cm)	60 x 60	70 x 70	80 x 80	90 x 90	100 x 100	110 x 110	120 x 120
$\sigma_{adm} = 0,005\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	1,8	2,4	3,1	4,0	4,9	5,9	7,1
	$M_x = M_y$ (kNcm)	33,4	53,0	79,2	112,7	154,6	205,8	267,2
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	35
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,16	0,23	0,31	0,41	0,51	0,63	0,77
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,16	0,23	0,31	0,41	0,51	0,63	0,77
$\sigma_{adm} = 0,010\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	3,5	4,8	6,3	8,0	9,8	11,9	14,1
	$M_x = M_y$ (kNcm)	66,8	106,1	158,3	225,5	309,3	411,6	534,4
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	35
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,32	0,46	0,62	0,81	1,03	1,27	1,53
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,32	0,46	0,62	0,81	1,03	1,27	1,53
$\sigma_{adm} = 0,015\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	5,3	7,2	9,4	11,9	14,7	17,8	21,2
	$M_x = M_y$ (kNcm)	100,2	159,1	237,5	338,2	463,9	617,5	801,6
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,48	0,69	0,93	1,22	1,54	1,90	2,30
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,48	0,69	0,93	1,22	1,54	1,90	2,30
$\sigma_{adm} = 0,020\text{kN/cm}^2$	$V_k$ (kN)	7,1	9,6	12,6	15,9	19,6	23,8	28,3
	$M_x = M_y$ (kNcm)	133,6	212,2	316,7	450,9	618,5	823,3	1068,8
	$a_p = b_p$ (cm)	14	14	14	14	14	14	14
	$c_a$ (cm)	23	28	33	38	43	48	53
	$h$ (cm)	35	35	35	35	35	35	40
	$h_o$ (cm)	25	20	20	15	15	15	15
	$A_{s,A/B}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,64	0,92	1,24	1,62	2,05	2,54	3,07
	$A_{s,B/A}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,64	0,92	1,24	1,62	2,05	2,54	3,07

De acordo com a NBR 6118-2014 e NBR 6122-2010  
 Dados utilizados para elaboração da tabela:  $\gamma_s = 1,15$ ;  $\gamma_c = 1,40$ ;  $\gamma_n = 1,25$ ;  $f_{ck} = 2,5\text{kN/cm}^2$  e  $K_{maj} = 1,1$

Tabela 12 – Quantitativo e custo das sapatas

Elemento	CA-50 (kg)			Valor R\$/kg	Total R\$	Concreto (m <sup>3</sup> )	Valor R\$/m <sup>3</sup>	Total R\$	TOTAL R\$
	8mm	10mm	Total			C25			
EC1	4,64	-	4,64	R\$ 3,54	R\$16,44	0,23	R\$ 310,00	R\$ 71,30	R\$ 87,74
EC1'	-	7,15	7,15	R\$ 3,62	R\$25,88	0,29	R\$ 310,00	R\$ 89,90	R\$ 115,78
EC2	4,64	-	4,64	R\$ 3,54	R\$16,44	0,23	R\$ 310,00	R\$ 71,30	R\$ 87,74
EC2'	-	7,15	7,15	R\$ 3,62	R\$25,88	0,29	R\$ 310,00	R\$ 89,90	R\$ 115,78
EC3	4,64	-	4,64	R\$ 3,54	R\$16,44	0,23	R\$ 310,00	R\$ 71,30	R\$ 87,74
EC3'	-	4,97	4,97	R\$ 3,62	R\$17,99	0,22	R\$ 310,00	R\$ 68,20	R\$ 86,19
EC4	4,64	-	4,64	R\$ 3,54	R\$16,44	0,23	R\$ 310,00	R\$ 71,30	R\$ 87,74
EC4'	-	4,97	4,97	R\$ 3,62	R\$17,99	0,22	R\$ 310,00	R\$ 68,20	R\$ 86,19

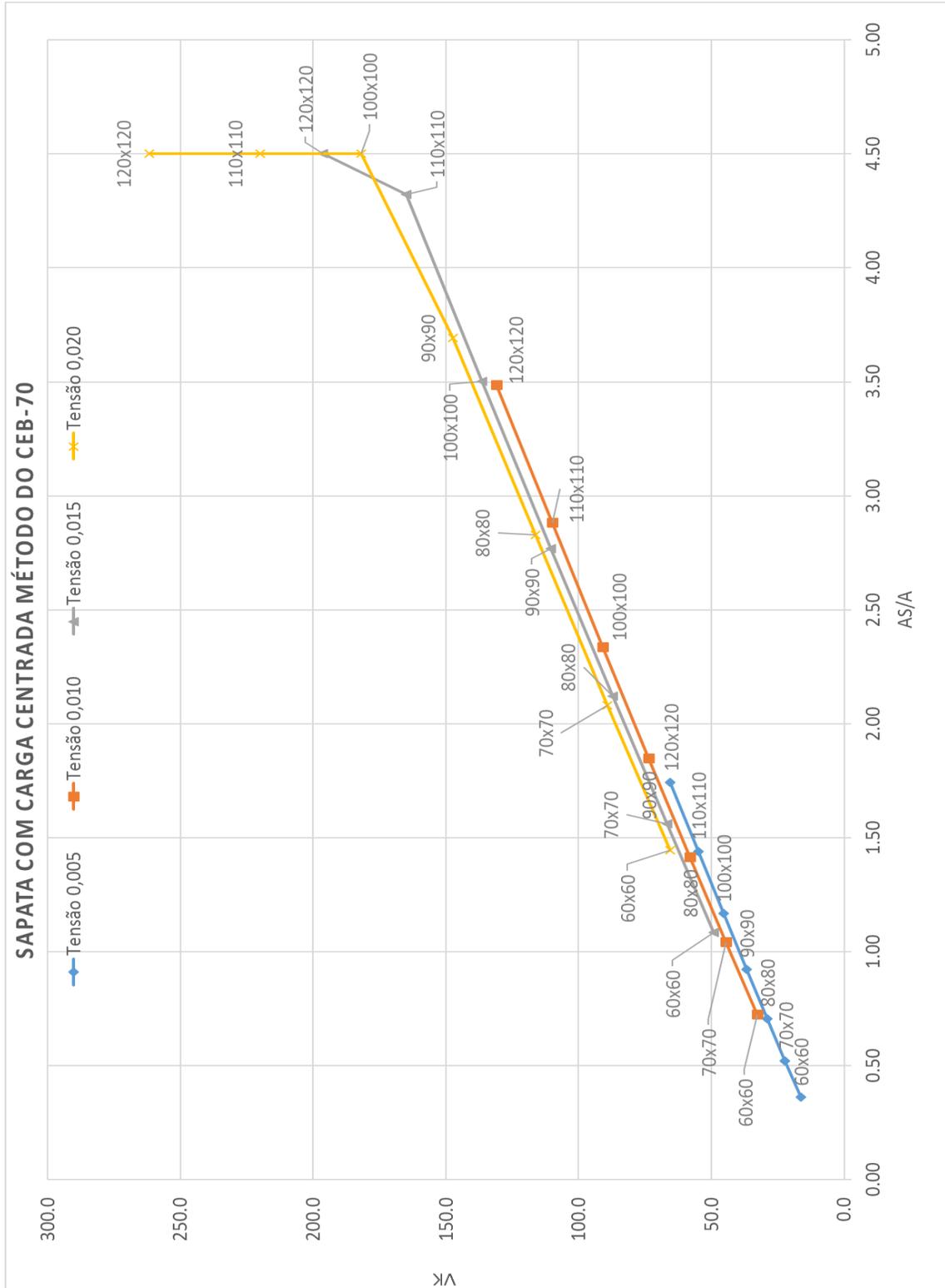
Onde:

ECn: estudo de caso n;

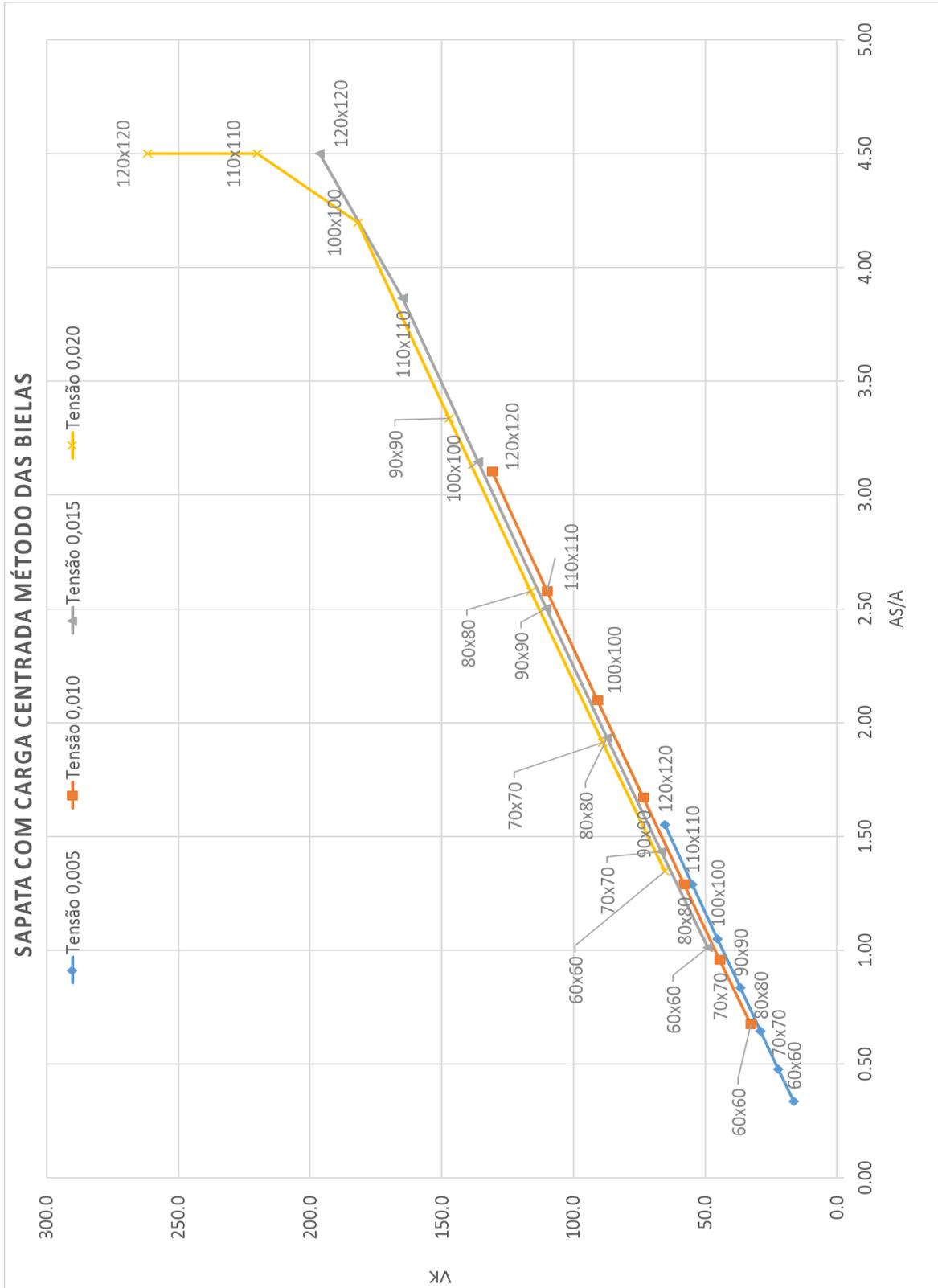
ECn': sapata dimensionada pelo CYPECAD referente ao estudo de caso n.

4.2. ÁBACOS

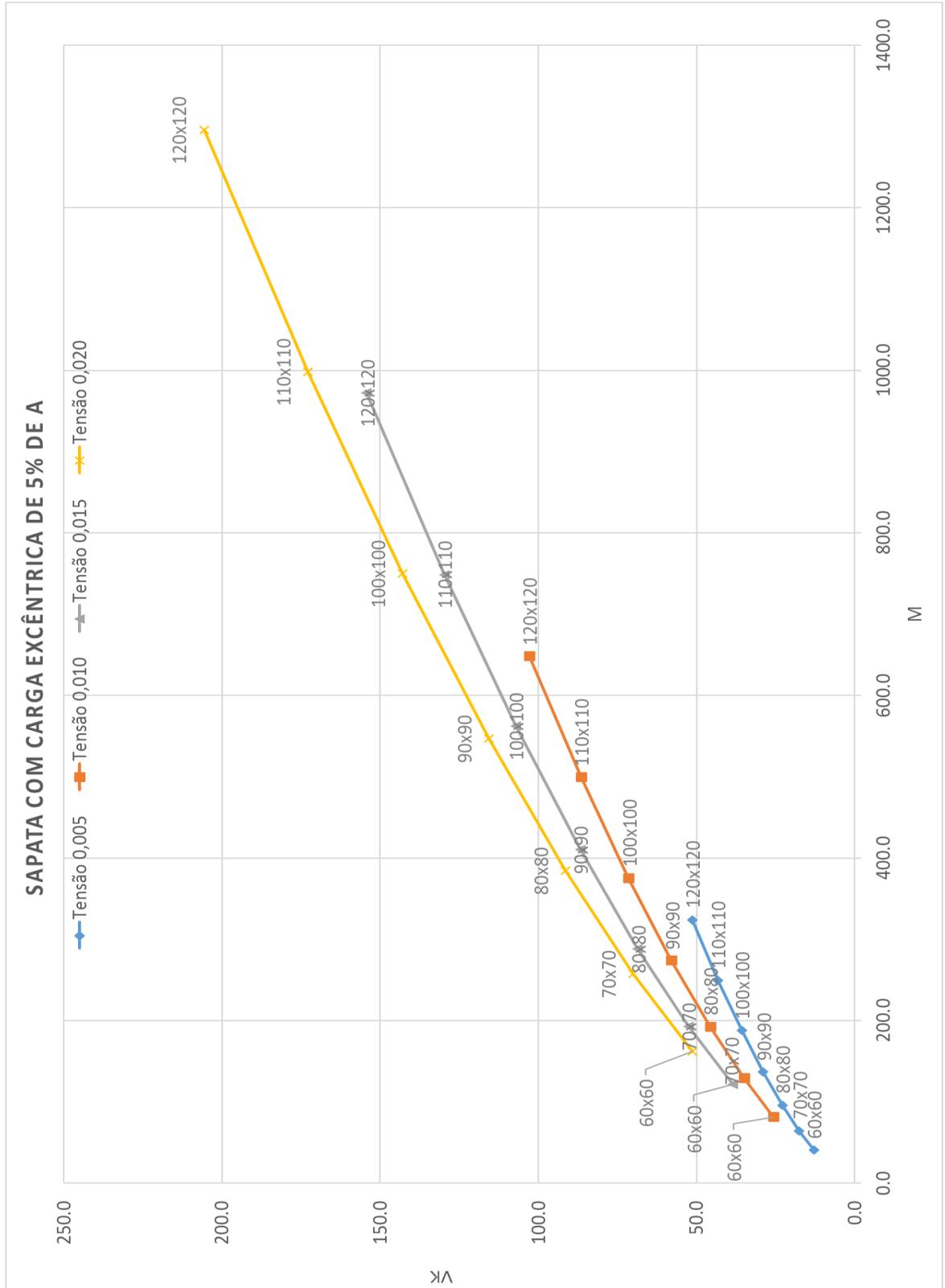
Ábaco 1 - Sapata com carga centrada método do CEB-70



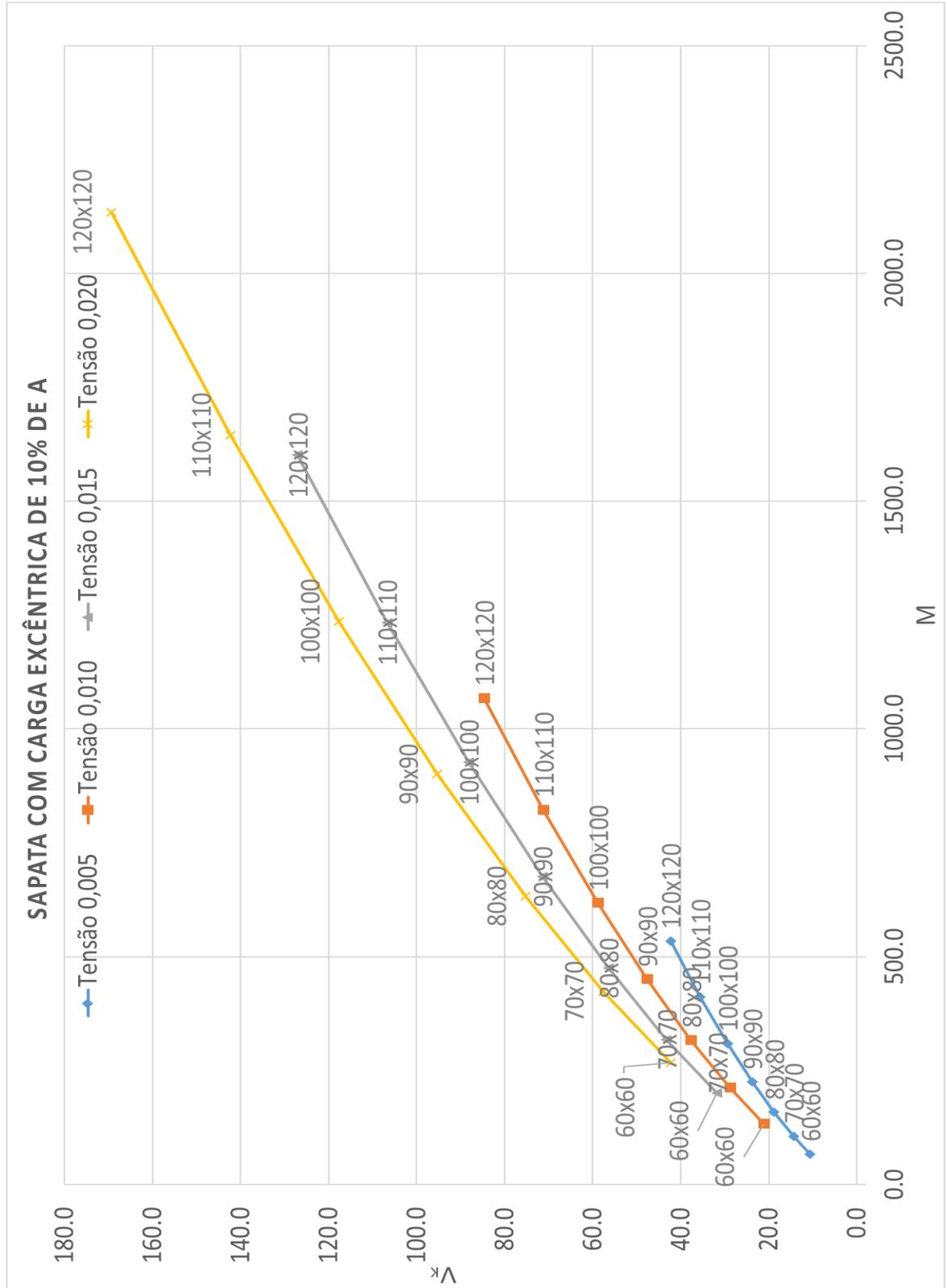
Ábaco 2 - Sapatas com carga centrada método das bielas



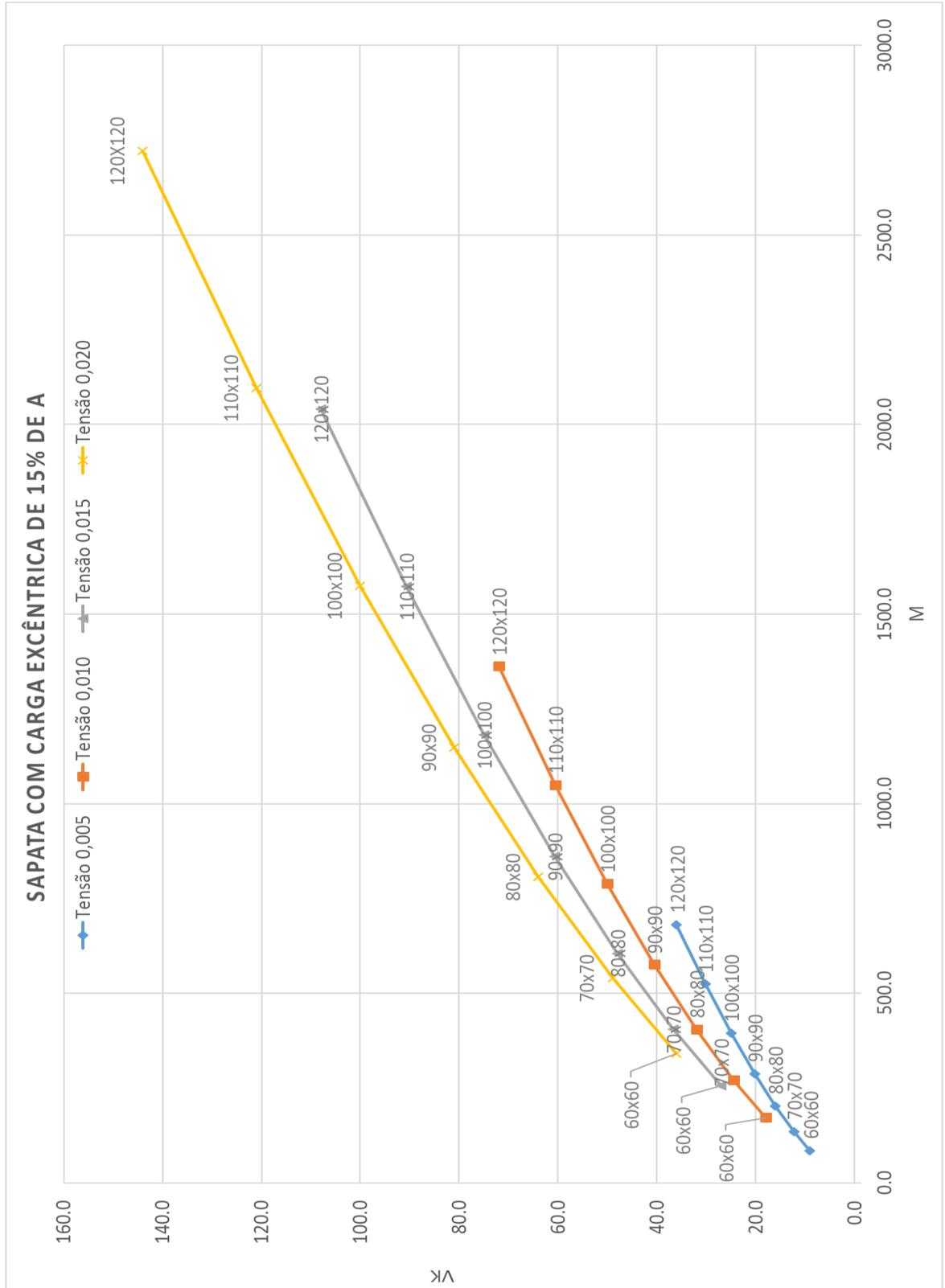
Ábaco 3 - Sapatas com carga excêntrica de 5% de A



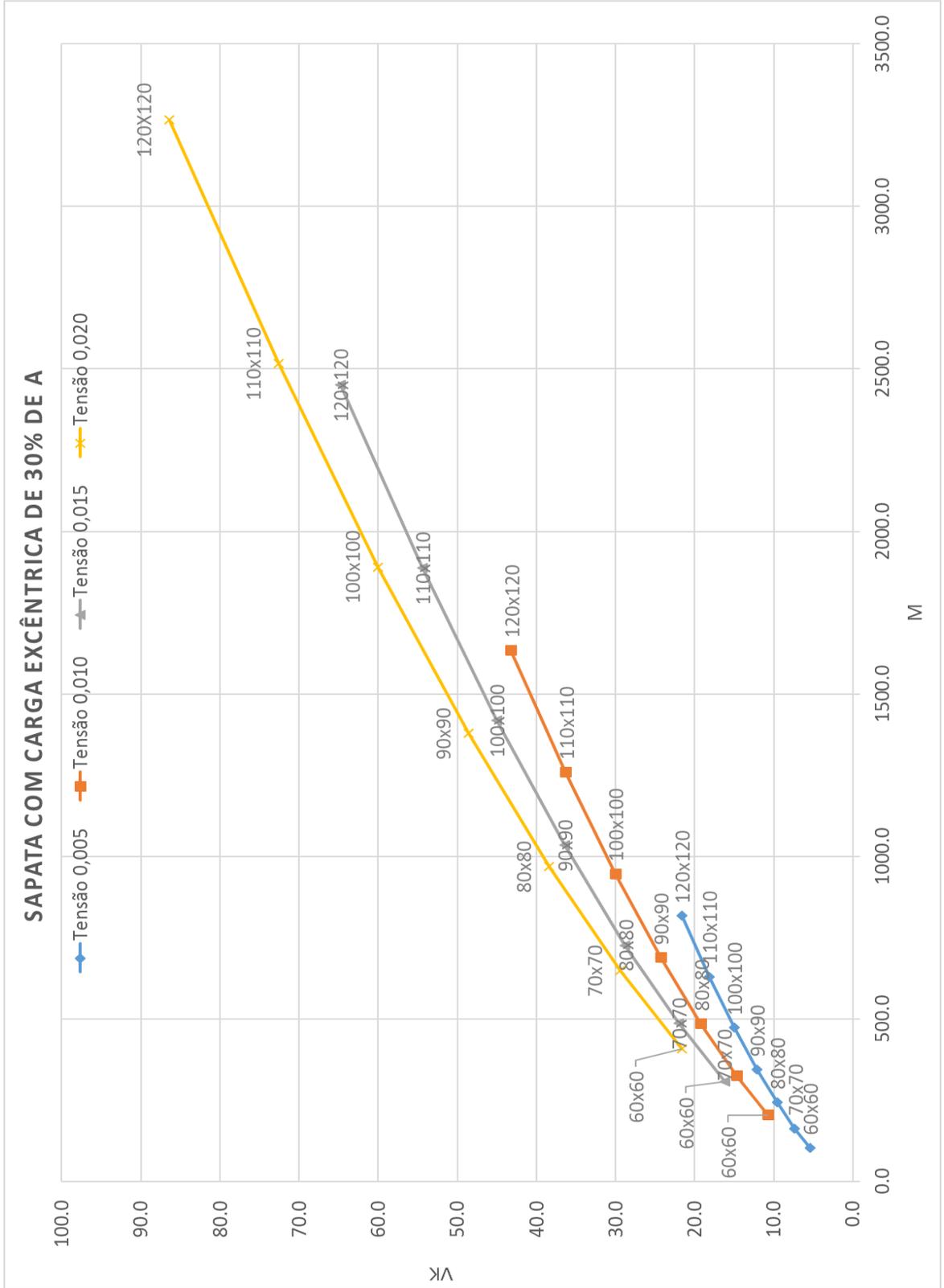
Ábaco 4 - Sapatas com carga excêntrica de 10% de A



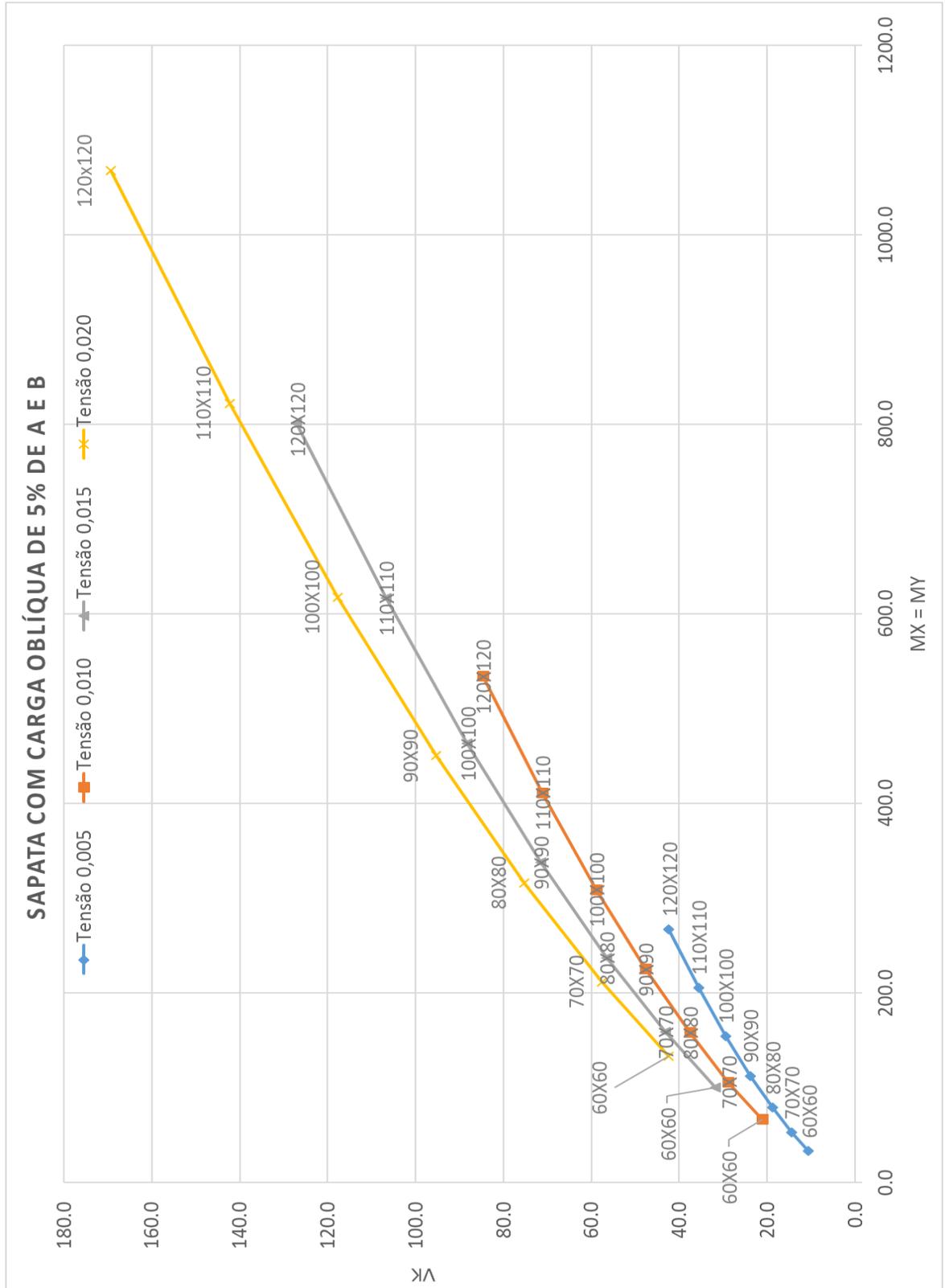
Ábaco 5 - Sapatas com carga excêntrica de 15% de A



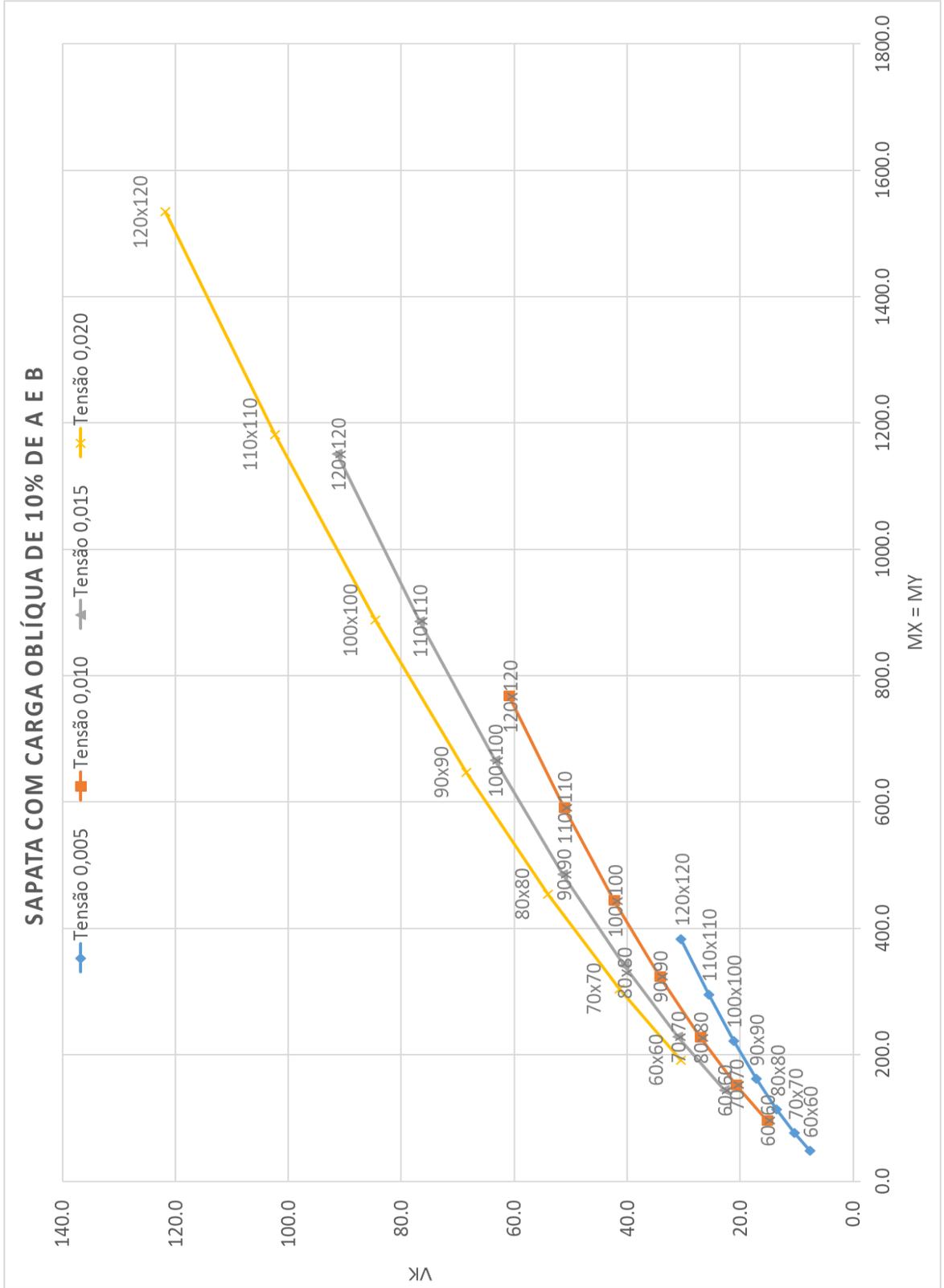
Ábaco 6 - Sapatas com carga excêntrica de 30% de A



Ábaco 7 - Sapatas com carga oblíqua de 5% de A e B

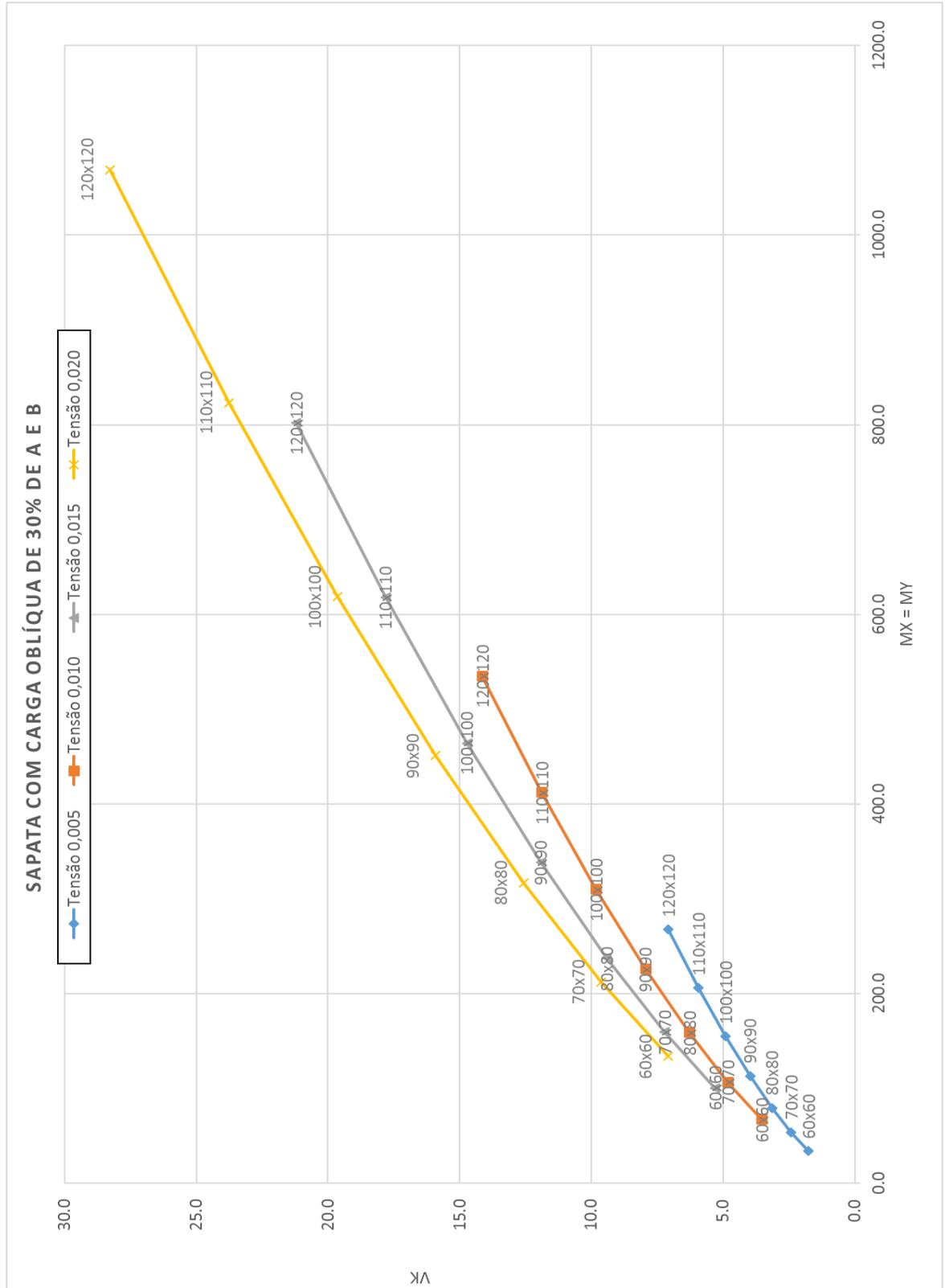


Ábaco 8 - Sapatas com carga oblíqua de 10% de A e B





Ábaco 10 - Sapatas com carga oblíqua de 30% de A e B



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos resultados obtidos no estudo, entende-se que as tabelas e ábacos produzidas, são uma ferramenta eficaz para o cálculo e dimensionamento das sapatas quadradas e também podem ser utilizados de uma forma prática para se determinar quantitativos e custos dos materiais a serem utilizados nas fundações.

Observou-se que existe uma proporcionalidade direta ao se alterar os lados da sapata, influenciando no quanto a sapata pode resistir à esforços de compressão e momentos fletores. Ao se duplicar o lado da sapata, ela passa a resistir quatro vezes mais aos esforços de compressão e oito vezes mais aos momentos fletores atuantes.

Também foi feita a mesma verificação ao se alterar a tensão admissível do solo e, pôde-se observar que essa proporcionalidade é linear, ou seja, dobrando a tensão admissível duplicará a resistência aos esforços de compressão e momentos fletores atuantes.

Os resultados obtidos entre o CEB 1970 para cargas centradas e o Método das Bielas mostram que este utiliza uma menor quantidade de aço para resistir às tensões de tração atuantes quando comparado ao CEB 1970, destacando que em todos os casos a armadura utilizada foi menor.

No estudo comparativo entre os modelos calculados pelo programa CYPECAD e os estudos de caso, revelaram que para os dois primeiros casos, houve uma economia tanto na quantidade de concreto utilizada quanto na armadura, resultando assim em um menor custo total para se implementar aquela solução. Já para os estudos de caso 3 e 4, houve uma economia na armadura que não foram tão significativas, enquanto que utilizaram uma quantidade maior de concreto que também não foi tão significativo, mas como o seu custo é mais representativo, resultou em um custo total final maior para os estudos de caso 3 e 4 quando comparados para o CYPECAD.

Todas as fundações analisadas nos estudos de caso não passam nas verificações de quantidade geométrica mínima e diâmetro mínimo das barras. Os limites mínimos dessas verificações são critérios do próprio Cypecad que não pode ser alterado, mas que não

influenciam na segurança da sapata pois todas as verificações de acordo com a norma NBR 6118:2014 e as literaturas foram realizadas, podendo ser desconsideradas.

Vale ressaltar também que no detalhamento das armaduras entre os estudos de caso e o CYPECAD foram bastante diferentes, isso se deve à critérios de projeto adotados, no caso dos estudos de caso como já comentado o diâmetro mínimo considerado foi de 8mm e o espaçamento máximo de 20cm, enquanto que o programa CYPECAD detalha com armadura mínima de 10mm e espaçamento máximo de 30cm. Essas diferenças são apenas por critérios de projeto que não afetam a segurança desses elementos de fundação.

O estudo aqui realizado pode ser mais aprofundado, fazendo uma maior análise de casos como uma outra faixa de valores de área da sapata ou tensões admissíveis do solo. Também pode-se abordar outros modelos de cálculo como o EUROCODE 2 ou ACI 218 e, até mesmo, utilizar outros programas de cálculo para se fazer comparações entre os resultados obtidos. E ainda, podem ser analisadas também sapatas flexíveis já que não fizeram parte do escopo desse trabalho.

Por fim, entende-se que o presente estudo atingiu os objetivos estabelecidos no item 1.1.

## 6 REFERÊNCIAS

ALONSO, U. R. **Exercícios de Fundações**, 13ª reimpressão. Editora Edgard Blücher, São Paulo, SP, Brasil, 201p, 1983.

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. **Projeto estrutural de sapatas**. Departamento de Estruturas e Construção Civil–Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em:< <http://www.ufsm.br/decc/ECC1008/Downloads/Sapatas.pdf>, 2007.

BASTOS, PS DOS SANTOS. **Sapatas de fundação**. 2012.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson; ALBIERO, José Henrique. **Fundações diretas: projeto geotécnico**. Oficina de Textos, 2011.

LEBELLE, P. **Semelles de béton armé**, 1936.

LEONARDS, G.A. (1962). **Foundation engineering**. New York, McGraw Hill. p.525-531.

MONTOYA, J. et al. (1973). **Hormigón armado**. Barcelona, Gustavo Gilli.

SILVA, Edja Laurindo da. **Análise dos modelos estruturais para determinação dos esforços resistentes em sapatas isoladas**. 1998. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SILVA, Edja Laurindo da; VANDERLEI, Romel Dias; GIONGO, José Samuel. **CONCRETO ARMADO: PROJETO ESTRUTURAL DE SAPATAS ISOLADAS**, 2008

TÉCNICAS, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS. **Projeto de estruturas de concreto**–NBR 6118. Rio de Janeiro, 2014.

TÉCNICAS, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS. **Projeto e execução de fundações**–NBR 6122. 2010.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, 2004.

## ANEXO A – TABELAS

Tabela A-1 – Área de armadura por metro de largura (cm<sup>2</sup>/m)

ÁREA DE ARMADURA POR METRO DE LARGURA (cm <sup>2</sup> /m)						
Espaçamento (cm)	Diâmetro Nominal (mm)					
	4.2	5	6.3	8	10	12.5
5	2.77	4.00	6.30	10.00	16.00	25.00
5.5	2.52	3.64	5.73	9.09	14.55	22.73
6	2.31	3.33	5.25	8.33	13.33	20.83
6.5	2.13	3.08	4.85	7.69	12.31	19.23
7	1.98	2.86	4.50	7.14	11.43	17.86
7.5	1.85	2.67	4.20	6.67	10.67	16.67
8	1.73	2.50	3.94	6.25	10.00	15.63
8.5	1.63	2.35	3.71	5.88	9.41	14.71
9	1.54	2.22	3.50	5.56	8.89	13.89
9.5	1.46	2.11	3.32	5.26	8.42	13.16
10	1.39	2.00	3.15	5.00	8.00	12.50
11	1.26	1.82	2.86	4.55	7.27	11.36
12	1.15	1.67	2.62	4.17	6.67	10.42
12.5	1.11	1.60	2.52	4.00	6.40	10.00
13	1.07	1.54	2.42	3.85	6.15	9.62
14	0.99	1.43	2.25	3.57	5.71	8.93
15	0.92	1.33	2.10	3.33	5.33	8.33
16	0.87	1.25	1.97	3.13	5.00	7.81
17	0.81	1.18	1.85	2.94	4.71	7.35
17.5	0.79	1.14	1.80	2.86	4.57	7.14
18	0.77	1.11	1.75	2.78	4.44	6.94
19	0.73	1.05	1.66	2.63	4.21	6.58
20	0.69	1.00	1.58	2.50	4.00	6.25
22	0.63	0.91	1.43	2.27	3.64	5.68
24	0.58	0.83	1.31	2.08	3.33	5.21
25	0.55	0.80	1.26	2.00	3.20	5.00
26	0.53	0.77	1.21	1.92	3.08	4.81
28	0.49	0.71	1.12	1.79	2.86	4.46
30	0.46	0.67	1.05	1.67	2.67	4.17
33	0.42	0.61	0.95	1.52	2.42	3.79

Elaborada por PINHEIRO (1994)  
Diâmetros especificados pela NBR 7480

Tabela A-2 – Comprimento de ancoragem (cm) para aço CA-50 nervurado

COMPRIMENTO DE ANCORAGEM (cm) PARA $A_{s,ef} = A_{s,calc}$ CA-50 nervurado																
$\phi$ (mm)	Concreto															
	C15		C20		C25		C30		C35		C40		C45		C50	
	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com
6,3	48	33	39	28	34	24	30	21	27	19	25	17	23	16	21	15
	33	23	28	19	24	17	21	15	19	13	17	12	16	11	15	10
8	61	42	50	35	43	30	38	27	34	24	31	22	29	20	27	19
	42	30	35	24	30	21	27	19	24	17	22	15	20	14	19	13
10	76	53	62	44	54	38	48	33	43	30	39	28	36	25	34	24
	53	37	44	31	38	26	33	23	30	21	28	19	25	18	24	17
12,5	95	66	78	55	67	47	60	42	54	38	49	34	45	32	42	30
	66	46	55	38	47	33	42	29	38	26	34	24	32	22	30	21
16	121	85	100	70	86	60	76	53	69	48	63	44	58	41	54	38
	85	59	70	49	60	42	53	37	48	34	44	31	41	29	38	27
20	151	106	125	87	108	75	95	67	86	60	79	55	73	51	68	47
	106	74	87	61	75	53	67	47	60	42	55	39	51	36	47	33
22,5	170	119	141	98	121	85	107	75	97	68	89	62	82	57	76	53
	119	83	98	69	85	59	75	53	68	47	62	43	57	40	53	37
25	189	132	156	109	135	94	119	83	108	75	98	69	91	64	85	59
	132	93	109	76	94	66	83	58	75	53	69	48	64	45	59	42
32	242	169	200	140	172	121	152	107	138	96	126	88	116	81	108	76
	169	119	140	98	121	84	107	75	96	67	88	62	81	57	76	53
40	329	230	271	190	234	164	207	145	187	131	171	120	158	111	147	103
	230	161	190	133	164	115	145	102	131	92	120	84	111	77	103	72

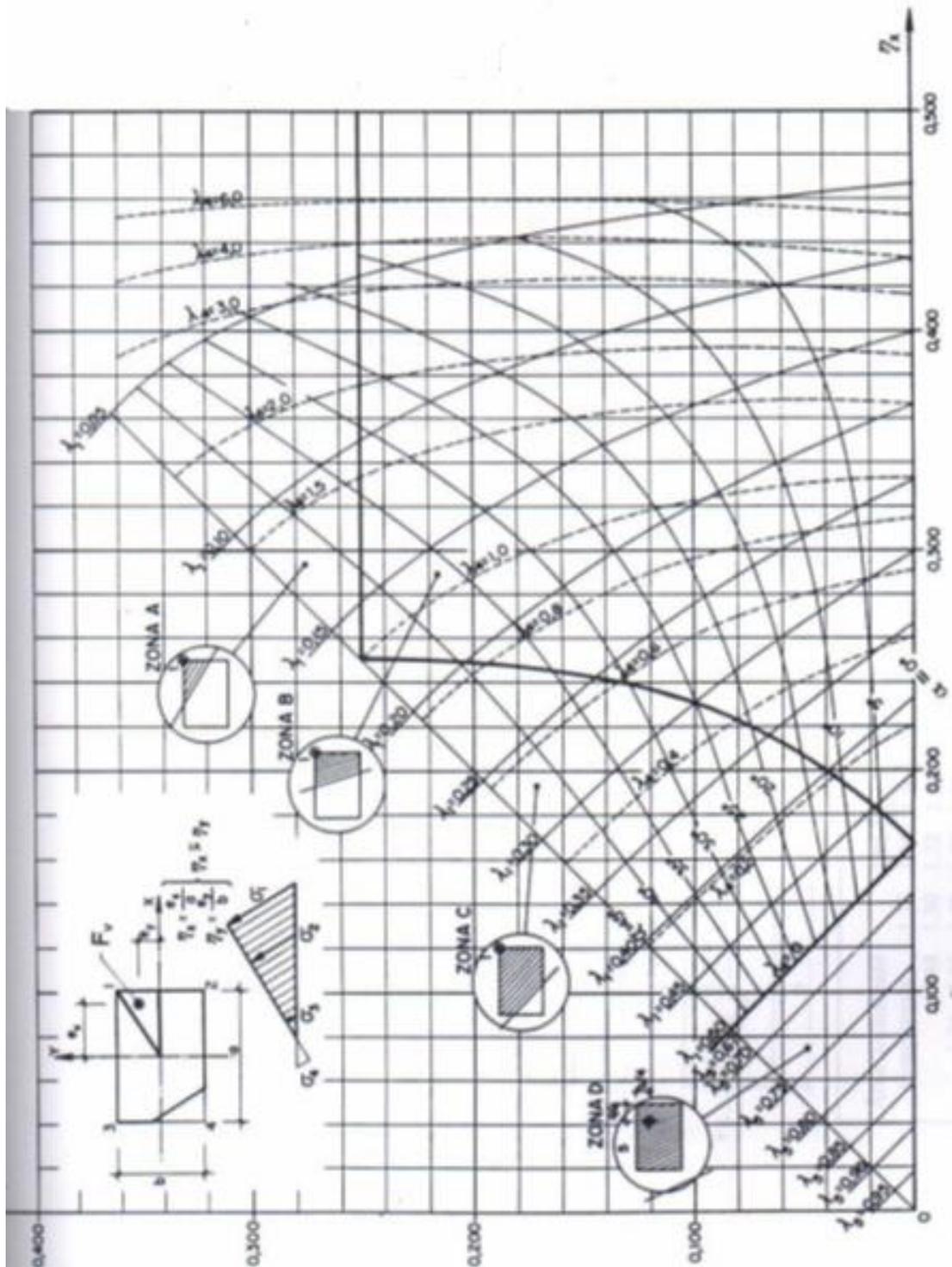
Valores de acordo com a NBR 6118.  
 Nº Superior: Má Aderência ; Nº Inferior: Boa Aderência  
 Sem e Com indicam sem ou com gancho na extremidade da barra  
 $A_{s,ef}$  = área de armadura efetiva ;  $A_{s,calc}$  = área de armadura calculada

O comprimento de ancoragem deve ser maior do que o comprimento mínimo:  $\ell_{b,min} \geq \begin{cases} 0,3 \ell_b \\ 10 \phi \\ 100 \text{ mm} \end{cases}$

$\gamma_c = 1,4$  ;  $\gamma_s = 1,15$

## ANEXO B – ÁBACO

Figura 25 - Ábaco para determinação das tensões máximas nas sapatas retangulares rígidas para ação com dupla excentricidade MONTOYA, 1973



Fonte: MONTOYA, 1973

## ANEXO C – CYPECAD

Os dados apresentados nas tabelas C-1, C-2, C-3, C-4 são as análises feitas pelo CYPECAD com os valores fornecidos por cada estudo de caso.

Tabela C-1 – Resultados do estudo de caso 1

Referência: EC1 Dimensões: 100 x 100 x 35 / 15 Soldados: Xi:Ø8c/20 Yi:Ø8c/20		
Verificação	Valores	Estado
Ângulo máximo talude: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 30 graus Calculado: 24.9439 graus	Passa
Tensões sobre o terreno: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Calculado: 0.965 kgf/cm <sup>2</sup>	
- Tensão média em combinações fundamentais:	Máximo: 1.2 kgf/cm <sup>2</sup>	Passa
- Tensão máxima em combinações fundamentais:	Máximo: 1.5 kgf/cm <sup>2</sup>	Passa
Tombamento da sapata: - Na direção X <sup>(1)</sup> - Na direção Y <sup>(1)</sup> <i>(1) Sem momento de tombamento</i>		Não procede Não procede
Flexão na sapata: - Na direção X: - Na direção Y:	Momento: 1.29 t·m Momento: 1.29 t·m	Passa Passa
Cortante na sapata: - Na direção X: - Na direção Y:	Cortante: 1.76 t Cortante: 1.76 t	Passa Passa
Compressão oblíqua na sapata: - Combinações fundamentais: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 546.08 t/m <sup>2</sup> Calculado: 77.82 t/m <sup>2</sup>	Passa
Altura mínima: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm	Passa
Espaço para ancorar arranques na fundação: - EC1:	Mínimo: 0 cm Calculado: 29 cm	Passa
Quantidade geométrica mínima: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Mínimo: 0.001	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 0.0009	Não passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 0.0009	Não passa
Quantia mínima necessária por flexão: <i>Norma Brasileira ABNT NBR 6118:2014. Artigo 17.3.5.2</i>	Mínimo: 0.0006	

Referência: EC1 Dimensões: 100 x 100 x 35 / 15 Soldados: Xi:Ø8c/20 Yi:Ø8c/20		
Verificação	Valores	Estado
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 0.0009	Passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 0.0009	Passa
Diâmetro mínimo das barras: - Malha inferior: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Mínimo: 10 mm Calculado: 8 mm	Não passa
Espaçamento máximo entre barras: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 30 cm	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 20 cm	Passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 20 cm	Passa
Espaçamento mínimo entre barras: <i>Critério da CYPE Ingenieros, baseado em: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 20 cm	Passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 20 cm	Passa
Comprimento de ancoragem: <i>Critério do livro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>	Mínimo: 25 cm	
- Armadura inf. direção X para dir:	Calculado: 25 cm	Passa
- Armadura inf. direção X para esq:	Calculado: 25 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para cima:	Calculado: 25 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para baixo:	Calculado: 25 cm	Passa
Comprimento mínimo das dobras:	Mínimo: 9 cm	
- Armadura inf. direção X para dir:	Calculado: 9 cm	Passa
- Armadura inf. direção X para esq:	Calculado: 9 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para cima:	Calculado: 9 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para baixo:	Calculado: 9 cm	Passa
Algumas verificações não foram cumpridas		

Tabela C-2 – Resultados do estudo de caso 2

Referência: EC2 Dimensões: 100 x 100 x 35 / 15 Soldados: Xi:Ø8c/20 Yi:Ø8c/20		
Verificação	Valores	Estado
Ângulo máximo talude: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 30 graus Calculado: 24.9439 graus	Passa
Tensões sobre o terreno: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Calculado: 0.965 kgf/cm <sup>2</sup>	
- Tensão média em combinações fundamentais:	Máximo: 1.2 kgf/cm <sup>2</sup>	Passa
- Tensão máxima em combinações fundamentais:	Máximo: 1.5 kgf/cm <sup>2</sup>	Passa
Tombamento da sapata: - Na direção X <sup>(1)</sup> - Na direção Y <sup>(1)</sup> <i>(1) Sem momento de tombamento</i>		Não procede Não procede
Flexão na sapata: - Na direção X: - Na direção Y:	Momento: 1.29 t·m Momento: 1.29 t·m	Passa Passa
Cortante na sapata: - Na direção X: - Na direção Y:	Cortante: 1.76 t Cortante: 1.76 t	Passa Passa
Compressão oblíqua na sapata: - Combinações fundamentais: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 546.08 t/m <sup>2</sup> Calculado: 77.82 t/m <sup>2</sup>	Passa
Altura mínima: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm	Passa
Espaço para ancorar arranques na fundação: - EC2:	Mínimo: 0 cm Calculado: 29 cm	Passa
Quantidade geométrica mínima: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Mínimo: 0.001	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 0.0009	Não passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 0.0009	Não passa
Quantia mínima necessária por flexão: <i>Norma Brasileira ABNT NBR 6118:2014. Artigo 17.3.5.2</i>	Mínimo: 0.0005	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 0.0009	Passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 0.0009	Passa

Referência: EC2 Dimensões: 100 x 100 x 35 / 15 Soldados: Xi:Ø8c/20 Yi:Ø8c/20		
Verificação	Valores	Estado
Diâmetro mínimo das barras: - Malha inferior: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Mínimo: 10 mm Calculado: 8 mm	Não passa
Espaçamento máximo entre barras: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i> - Armadura inferior direção X: - Armadura inferior direção Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 20 cm Calculado: 20 cm	Passa Passa
Espaçamento mínimo entre barras: <i>Critério da CYPE Ingenieros, baseado em: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> - Armadura inferior direção X: - Armadura inferior direção Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 20 cm Calculado: 20 cm	Passa Passa
Comprimento de ancoragem: <i>Critério do livro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i> - Armadura inf. direção X para dir: - Armadura inf. direção X para esq: - Armadura inf. direção Y para cima: - Armadura inf. direção Y para baixo:	Mínimo: 16 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm	Passa Passa Passa Passa
Comprimento mínimo das dobras: - Armadura inf. direção X para dir: - Armadura inf. direção X para esq: - Armadura inf. direção Y para cima: - Armadura inf. direção Y para baixo:	Mínimo: 9 cm Calculado: 9 cm Calculado: 9 cm Calculado: 9 cm Calculado: 9 cm	Passa Passa Passa Passa
Algumas verificações não foram cumpridas		

Tabela C-3 – Resultados do estudo de caso 3

Referência: EC3 Dimensões: 100 x 100 x 35 / 15 Soldados: Xi:Ø8c/20 Yi:Ø8c/20		
Verificação	Valores	Estado
Ângulo máximo talude: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 30 graus Calculado: 24.9439 graus	Passa
Tensões sobre o terreno: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>		
- Tensão média em combinações fundamentais:	Máximo: 1.2 kgf/cm <sup>2</sup> Calculado: 0.644 kgf/cm <sup>2</sup>	Passa
- Tensão máxima em combinações fundamentais:	Máximo: 1.5 kgf/cm <sup>2</sup> Calculado: 1.016 kgf/cm <sup>2</sup>	Passa
Tombamento da sapata: - Na direção X: <i>Se o % de reserva de segurança é maior que zero, pode ser dito que os coeficientes de segurança ao tombamento são maiores que os valores exatos exigidos para todas as combinações de equilíbrio.</i>	Reserva segurança: 420.0 %	Passa
- Na direção Y <sup>(1)</sup> <i>(1) Sem momento de tombamento</i>		Não procede
Flexão na sapata: - Na direção X: - Na direção Y:	Momento: 1.21 t·m Momento: 0.84 t·m	Passa Passa
Cortante na sapata: - Na direção X: - Na direção Y:	Cortante: 1.76 t Cortante: 1.14 t	Passa Passa
Compressão oblíqua na sapata: - Combinações fundamentais: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 546.08 t/m <sup>2</sup> Calculado: 57.89 t/m <sup>2</sup>	Passa
Altura mínima: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm	Passa
Espaço para ancorar arranques na fundação: - EC3:	Mínimo: 0 cm Calculado: 29 cm	Passa
Quantidade geométrica mínima: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Mínimo: 0.001	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 0.0009	Não passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 0.0009	Não passa
Quantia mínima necessária por flexão: <i>Norma Brasileira ABNT NBR 6118:2014. Artigo 17.3.5.2</i>	Calculado: 0.0009	
- Armadura inferior direção X:	Mínimo: 0.0005	Passa

Referência: EC3 Dimensões: 100 x 100 x 35 / 15 Soldados: Xi:Ø8c/20 Yi:Ø8c/20		
Verificação	Valores	Estado
- Armadura inferior direção Y:	Mínimo: 0.0004	Passa
Diâmetro mínimo das barras: - Malha inferior: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Mínimo: 10 mm Calculado: 8 mm	Não passa
Espaçamento máximo entre barras: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 30 cm	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 20 cm	Passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 20 cm	Passa
Espaçamento mínimo entre barras: <i>Critério da CYPE Ingenieros, baseado em: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 20 cm	Passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 20 cm	Passa
Comprimento de ancoragem: <i>Critério do livro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>	Calculado: 25 cm	
- Armadura inf. direção X para dir:	Mínimo: 15 cm	Passa
- Armadura inf. direção X para esq:	Mínimo: 10 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para cima:	Mínimo: 10 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para baixo:	Mínimo: 10 cm	Passa
Comprimento mínimo das dobras:	Mínimo: 9 cm	
- Armadura inf. direção X para dir:	Calculado: 9 cm	Passa
- Armadura inf. direção X para esq:	Calculado: 9 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para cima:	Calculado: 9 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para baixo:	Calculado: 9 cm	Passa
Algumas verificações não foram cumpridas		

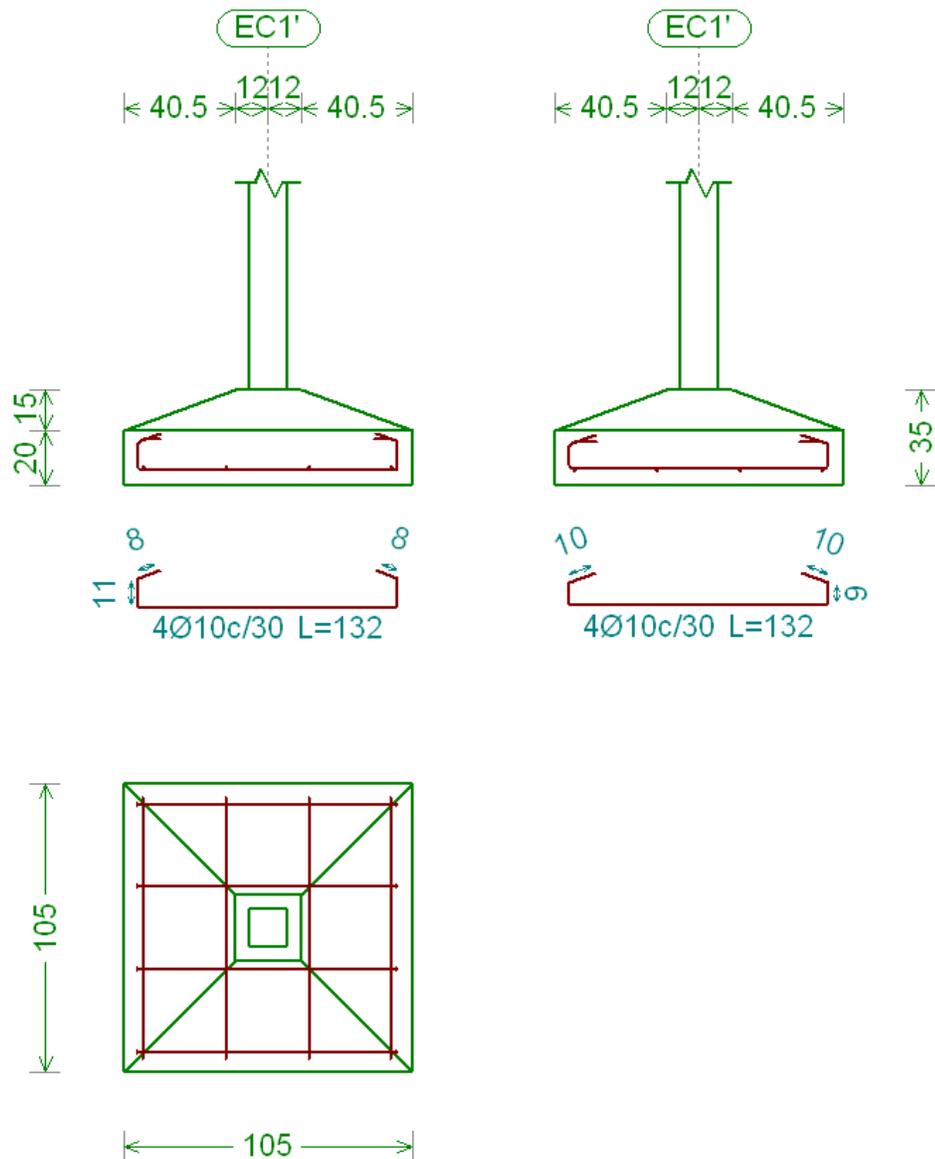
Tabela C-4 – Resultados do estudo de caso 4

Referência: EC4 Dimensões: 100 x 100 x 35 / 15 Soldados: Xi:Ø8c/20 Yi:Ø8c/20		
Verificação	Valores	Estado
Ângulo máximo talude: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 30 graus Calculado: 24.9439 graus	Passa
Tensões sobre o terreno: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>		
- Tensão média em combinações fundamentais:	Máximo: 1.2 kgf/cm <sup>2</sup> Calculado: 0.481 kgf/cm <sup>2</sup>	Passa
- Tensão máxima em combinações fundamentais:	Máximo: 1.5 kgf/cm <sup>2</sup> Calculado: 1.008 kgf/cm <sup>2</sup>	Passa
Tombamento da sapata: <i>Se o % de reserva de segurança é maior que zero, pode ser dito que os coeficientes de segurança ao tombamento são maiores que os valores exatos exigidos para todas as combinações de equilíbrio.</i>		
- Na direção X:	Reserva segurança: 445.3 %	Passa
- Na direção Y:	Reserva segurança: 445.3 %	Passa
Flexão na sapata:		
- Na direção X:	Momento: 0.87 t·m	Passa
- Na direção Y:	Momento: 0.87 t·m	Passa
Cortante na sapata:		
- Na direção X:	Cortante: 1.26 t	Passa
- Na direção Y:	Cortante: 1.26 t	Passa
Compressão oblíqua na sapata:		
- Combinações fundamentais: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 546.08 t/m <sup>2</sup> Calculado: 41.64 t/m <sup>2</sup>	Passa
Altura mínima: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm	Passa
Espaço para ancorar arranques na fundação:		
- EC4:	Mínimo: 0 cm Calculado: 29 cm	Passa
Quantidade geométrica mínima: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Mínimo: 0.001	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 0.0009	Não passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 0.0009	Não passa
Quantia mínima necessária por flexão: <i>Norma Brasileira ABNT NBR 6118:2014. Artigo 17.3.5.2</i>	Mínimo: 0.0004	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 0.0009	Passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 0.0009	Passa

Referência: EC4 Dimensões: 100 x 100 x 35 / 15 Soldados: Xi:Ø8c/20 Yi:Ø8c/20		
Verificação	Valores	Estado
Diâmetro mínimo das barras: - Malha inferior: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i>	Mínimo: 10 mm Calculado: 8 mm	Não passa
Espaçamento máximo entre barras: <i>Critério da CYPE Ingenieros</i> - Armadura inferior direção X: - Armadura inferior direção Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 20 cm Calculado: 20 cm	Passa Passa
Espaçamento mínimo entre barras: <i>Critério da CYPE Ingenieros, baseado em: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> - Armadura inferior direção X: - Armadura inferior direção Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 20 cm Calculado: 20 cm	Passa Passa
Comprimento de ancoragem: <i>Critério do livro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i> - Armadura inf. direção X para dir: - Armadura inf. direção X para esq: - Armadura inf. direção Y para cima: - Armadura inf. direção Y para baixo:	Mínimo: 10 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm	Passa Passa Passa Passa
Comprimento mínimo das dobras: - Armadura inf. direção X para dir: - Armadura inf. direção X para esq: - Armadura inf. direção Y para cima: - Armadura inf. direção Y para baixo:	Mínimo: 9 cm Calculado: 9 cm Calculado: 9 cm Calculado: 9 cm Calculado: 9 cm	Passa Passa Passa Passa
Algumas verificações não foram cumpridas		

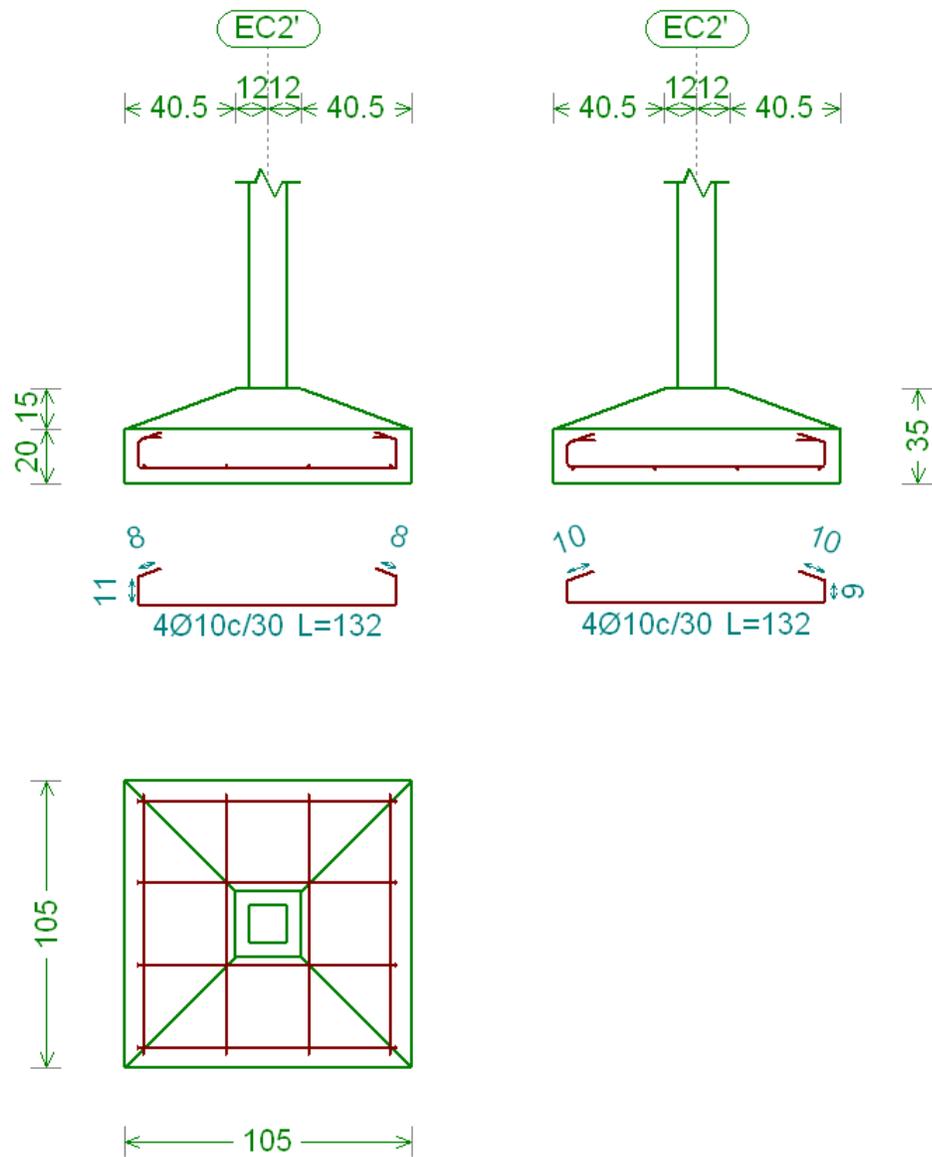
As figuras a seguir são os detalhamentos das sapatas realizados automaticamente pelo próprio Cypecad apenas entrando com os valores das cargas aplicadas, tensão do solo, fck do concreto, tipo de aço, entre outros. Cada figura representa o dimensionamento padrão realizado pelo Cypecad para cada estudo de caso aqui realizado.

Figura 1 - Detalhamento padrão do Cypecad para o Estudo de Caso 1



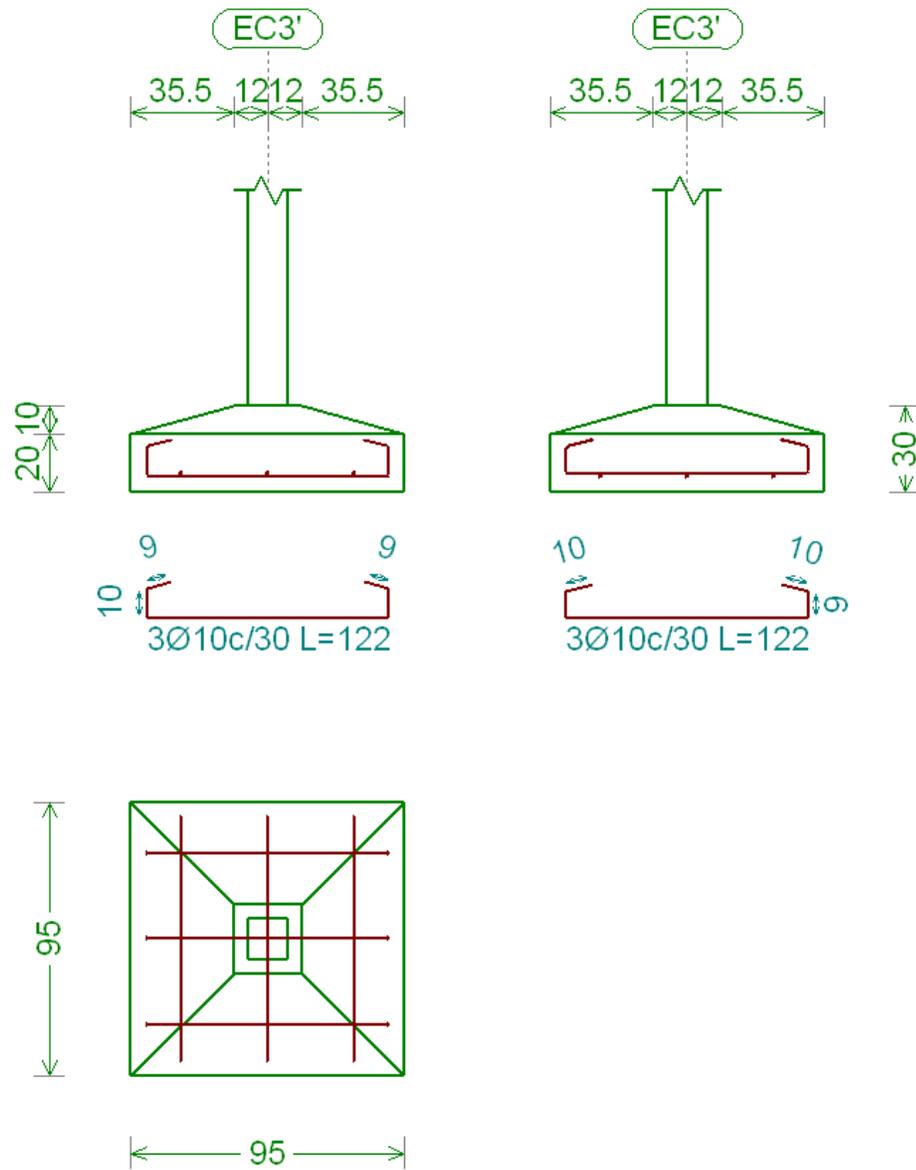
Fonte: CYPECAD, after hours

Figura 2 - Detalhamento padrão do Cypecad para o Estudo de Caso 2



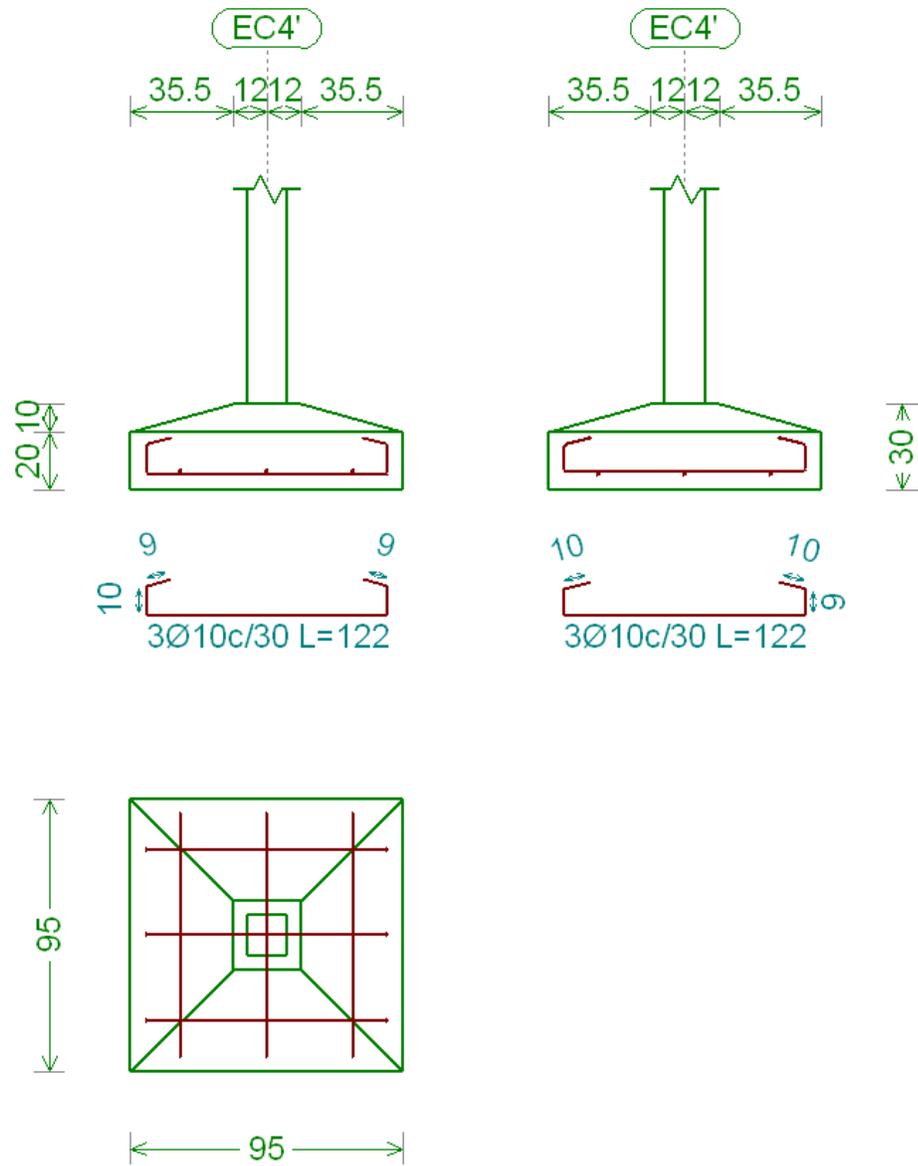
Fonte: CYPECAD, after hours

Figura 3 - Detalhamento padrão do Cypecad para o Estudo de Caso 3



Fonte: CYPECAD, after hours

Figura 4 - Detalhamento padrão do Cypecad para o Estudo de Caso 4



Fonte: CYPECAD, after hours