



# Análise comparativa para o cálculo de ligação entre o pilar e a fundação por meio de cálice de interface lisa segundo a ABNT NBR 9062:2017

## *Comparative analysis for the calculation of the connection between the column and the foundation using a smooth interface socket according to ABNT NBR 9062: 2017*

Silva Júnior, A. S. <sup>1</sup>

Graduando, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

Tenório, H. O. <sup>2</sup>

Professora Ma., Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

<sup>1</sup> [argenor.junior@hotmail.com](mailto:argenor.junior@hotmail.com); <sup>2</sup> [helen@pucgoias.edu.br](mailto:helen@pucgoias.edu.br)

**RESUMO:** Este trabalho tem como principal objetivo realizar o estudo de ligações pilar-fundação por meio de cálices de interface lisas em estruturas do tipo pré-moldadas. O estudo envolve especificamente as características geométricas que influenciam no consumo do concreto e aço nas mesmas. É observada a diminuição da seção transversal mínima de aço na seção horizontal principal de acordo com aumento do comprimento de embutimento e levando em consideração as variações da seção transversal do pilar, o comprimento de embutimento do pilar no cálice e a espessura da parede.

*Palavras-chaves: cálices, fundação, pré-moldado, estruturas, comprimento de embutimento.*

**ABSTRACT:** This work has as main objective to carry out the study of column-foundation connections through smooth interface sockets in precast type structures. The study specifically involves the geometric characteristics that influence the consumption of concrete and steel in them. A decrease in the minimum cross-section in the main horizontal section is observed according to the increase in the embedment length and taking into account the variations in the cross-section of the column, the length of the column embedment in the socket and the wall thickness.

*Keywords: chalices, foundation, precast, structures, embedded length.*

**Área de Concentração:** 01 – Construção Civil, 02 – Estruturas

## 1 INTRODUÇÃO

Com o propósito de atender as necessidades da construção civil, considerada como uma indústria atrasada em comparação a outros setores, deu-se origem ao concreto pré-moldado, que vem sendo cada vez mais utilizado por apresentar características que proporcionam benefícios para as etapas de construção, como maior controle na qualidade das peças estruturais, redução do desperdício de materiais e principalmente a diminuição do tempo de construção.

Por outro lado, a necessidade de realizar ligações entre os elementos pré-moldados se constitui como um dos principais problemas a serem enfrentados em seu emprego, sendo a principal diferença em relação a

uma estrutura convencional de concreto, para qual ocorrem etapas dentro do canteiro de obras como armação, execução de formas e o lançamento de concreto. A principal função das ligações é a transferência das forças pelas as interfaces dos elementos pré-moldados de maneira que os componentes interajam entre si como um único sistema estrutural, garantindo assim a estabilidade global da estrutura durante sua vida útil.

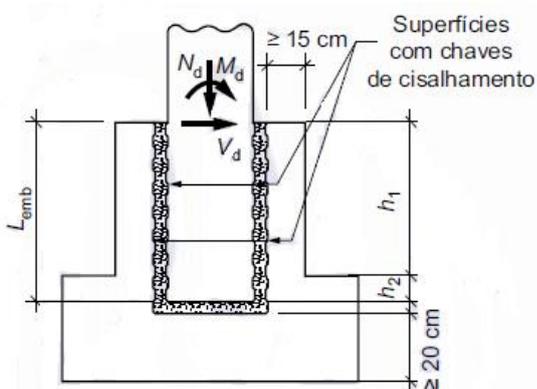
Ligações são regiões de descontinuidade em uma estrutura pré-moldada, na qual ocorrem concentrações de tensões as quais podem ou não mobilizar deslocamentos e esforços dos elementos por ela ligados (SOUZA, 2006). É fundamental portanto, que o projeto das ligações obedeça a critérios relativos à execução e produção, para que seja realizado de forma

segura e racional, pois o desempenho do sistema estrutural está relacionado ao desempenho de suas ligações.

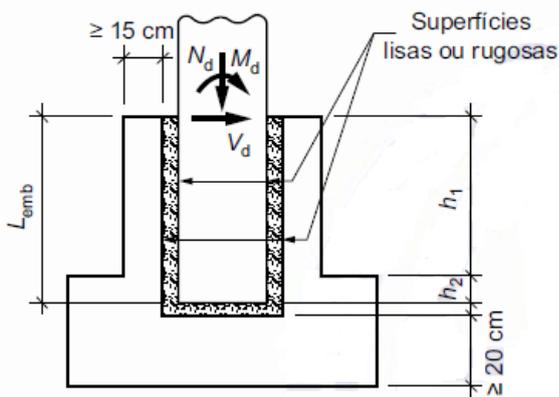
No que se refere a transmissão de carga para fundação, a ligação pilar-fundação pode ocorrer de diferentes formas: por meio de cálice, por chapa de base, por emenda da armadura com graute e bainha e por emenda de armaduras salientes.

Segundo (CAMPOS, 2010) dentre os tipos de ligação, o realizado por meio de cálices é o mais utilizado em estruturas de concreto pré-moldado no Brasil, e consiste no embutimento de parte do pilar em uma cavidade na base do elemento de fundação, eles podem ser de interfaces lisas, de interfaces rugosas ou chaves de cisalhamento, conforme a Figura 1 ilustra:

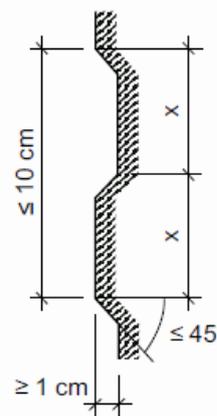
**Figura 1 – Tipos de ligação por meio de cálices.**



**b) Interfaces com chaves de cisalhamento**



**a) Interfaces lisas ou rugosas**



**c) Chaves de cisalhamento**

**Fonte: ABNT NBR 9062 (2017) - Adaptado.**

O presente trabalho tem como principal objetivo realizar um estudo comparativo de diferentes variações das seções do pilar em cálices de fundações de interface lisa utilizando seções de 40x40 cm<sup>2</sup>, 50x50 cm<sup>2</sup> e 60x60 cm<sup>2</sup> para que seja possível realizar um comparativo entre os resultados obtidos devido as mudanças das seções dos pilares nas áreas das seções de aço. O cálculo é realizado a partir do auxílio de uma planilha eletrônica desenvolvida completamente pelo próprio autor deste artigo, que resulta em valores de áreas mínimas para análise e verificação que devem ser levados em consideração para o dimensionamento.

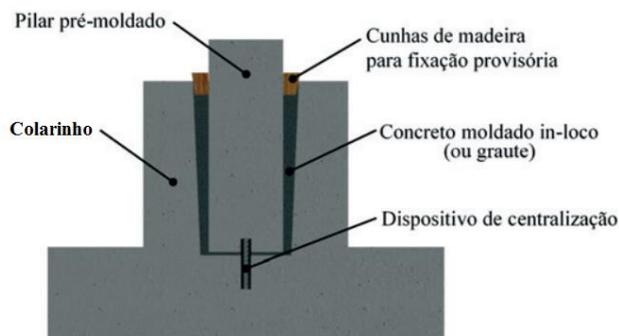
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Definições

Ligações pilar-fundação são definidas como o embutimento de um trecho do pilar em uma cavidade no cálice de fundação que permite a fixação dos dois elementos um ao outro por meio de encaixe e realização da transferência de esforços solicitantes para as paredes e as armaduras dispostas do componente pré-moldado.

Para a locação do pilar em planta são utilizadas cunhas de madeira como dispositivos de centralização, fixação temporária e prumo, sendo colocadas no espaço entre o pilar e o colarinho. Após a realização do encaixe do pilar no cálice o espaço vazio entre os dois elementos é preenchido com concreto moldado in loco ou graute, como mostra a Figura 2.

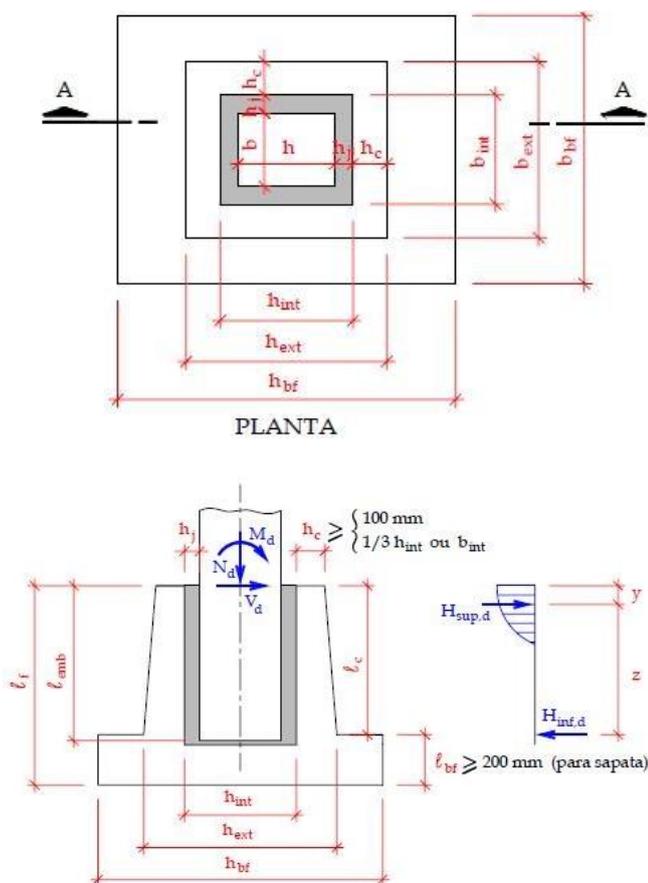
**Figura 2 - Ligação entre o pilar e a fundação por meio de cálice externo.**



Fonte: IBRACON (2013) - Adaptado.

Para facilitar o entendimento deste trabalho, a Figura 3 ilustra uma vista superior e em corte transversal da estrutura de fundação com a base do cálice.

**Figura 3 – Características geométricas e resultantes de forças no cálice.**



Fonte: Adaptado por CAMPOS (2010).

A seguir o resumo das siglas e seus significados.

- $b$ : Dimensão da seção transversal do pilar na direção Y;
- $h$ : Dimensão da seção transversal do pilar na direção X;
- $b_j$ : Espessura da junta.
- $b_{int}$ : Dimensão entre as faces internas das paredes da base do colarinho na direção Y;
- $h_{int}$ : Dimensão entre as faces internas das paredes da base do colarinho na direção X;
- $b_{ext}$ : Dimensão entre as faces externas das paredes da base do colarinho na direção Y;
- $h_{ext}$ : Dimensão entre as faces externas das paredes da base do colarinho na direção X;
- $h_{bf}$ : Dimensão da seção transversal da fundação;
- $h_c$ : Espessura da parede da base do colarinho;
- $h_j$ : Espessura da junta entre a parede interna do cálice e a face da coluna;
- $l_c$ : Comprimento do consolo;
- $l_{emb}$ : Comprimento de embutimento;
- $l_{bf}$ : Altura da fundação;
- $\mu$ : Coeficiente de atrito das interfaces do cálice;
- $A_{shp}$ : Área de armadura horizontal principal;
- $A_{shs}$ : Área de armadura horizontal secundária;
- $A_{svp}$ : Área de armadura vertical principal;
- $A_{svs}$ : Área de armadura vertical secundária.

Pode-se identificar pela imagem os parâmetros de distância da aplicação das pressões nas paredes transversais 1 e 2, e espessuras mínimas das paredes do colarinho e da base de fundação segundo a ABNT NBR 9062:2017 como mostra a tabela 1.

**Tabela: 1 – Comprimentos de embutimento segundo ABNT NBR 9062:2017**

Interfaces	$\frac{M_d}{N_d h} \leq 0,15$	$\frac{M_d}{N_d h} \geq 2$
Lisas e rugosas	$1,5h$	$2,0h$

Fonte: Autoria própria (2021).

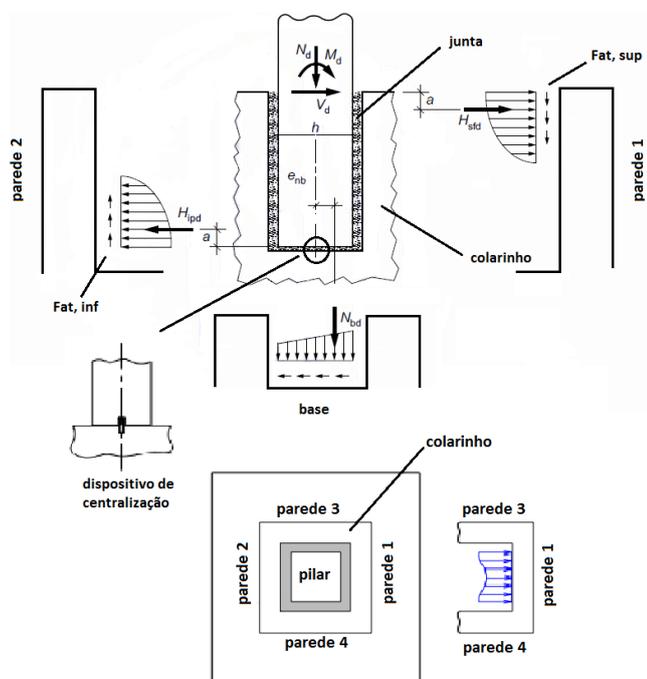
- $h$  é a dimensão da seção transversal do pilar paralela ao plano de ação do momento  $M_d$

## 2.2 Transferência dos esforços

A transferência dos esforços provenientes do pilar até a fundação é realizada através das paredes

longitudinais e transversais do cálice, como ilustrado na figura 4 abaixo.

**Figura 4 – Transferências dos esforços no cálice de fundação com interface lisa**

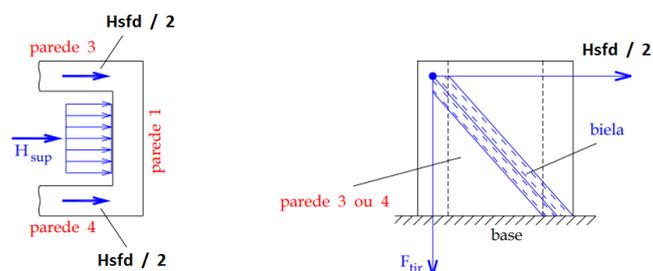


**Fonte: ABNT NBR 9062 (2017) - Adaptado.**

A transmissão do momento fletor  $M_d$  e a força horizontal  $V_d$  atuantes no pilar ocorrem por intermédio do concreto de preenchimento ou graute na junta, elas são distribuídas para as paredes transversais do cálice (parede 1 e 2) por meio das resultantes de pressões  $H_{ipd}$  e  $H_{sfd}$ . Forças de atrito surgem na interface pilar-colarinho em decorrência da transferência de forças na ligação, sendo o sentido da força na parede 1 com o mesmo sentido da força normal, enquanto na parede 2 depende da relação entre solicitações e geometria. As forças de atrito reduzem a intensidade da transmissão da força normal para a base do cálice.

A pressão  $H_{sfd}$  que age na parede 1 transmite forças transversais para as paredes 3 e 4, pois possuem maior rigidez para transmitir esforços para a base do cálice, o comportamento das paredes 3 e 4 se apresentam como consolos engastados na fundação. Devido a pequena distância entre a resultante de pressão inferior na parede 2 e a base, pode-se considerar que essa pressão é transmitida de forma direta para a base.

**Figura 5 – Transmissão das pressões pelas paredes do colarinho**



**Fonte: Adaptada por CAMPOS (2010)**

### 2.3 Dimensionamento das paredes do cálice

Segundo o método descrito pela norma brasileira ABNT NBR 9062:2017, a base do cálice deve ser calculada para resistir todas as forças e momentos normais horizontais transmitidos pelos pilares, incluindo os momentos de 2ª ordem globais.

## 3 METODOLOGIA

O trabalho teve como metodologia adotada o desenvolvimento das análises comparativas de resultados obtidos por meio cálculos realizados pela planilha eletrônica. O desenvolvimento da planilha foi realizado a partir de estudos relacionados ao dimensionamento e detalhamento de cálices de fundação de interface lisa segundo a ABNT NBR 9062:2017.

### 3.1 Levantamento bibliográfico

Na revisão bibliográfica foram estudadas e apresentadas as principais literaturas a respeito das recomendações do tema em questão. Foram feitos diversos estudos como forma de compilação de conhecimento relacionados ao detalhamento e dimensionamento do elemento de fundação pré-moldado.

Para a realização das análises paramétricas deste trabalho, foi levado em consideração estudos do artigo “Influência das recomendações de norma para o cálculo da ligação entre o pilar e a fundação por meio de cálice segundo a ABNT NBR 9062:2006 (PIERALISI e MACHADO, 2017).

### 3.2 Planilha eletrônica

Para uma análise paramétrica foi elaborada uma planilha de cálculo eletrônica desenvolvida pelo próprio autor deste artigo, para auxiliar na obtenção dos dados e, conseqüentemente, da verificação de influência no consumo de materiais na ligação entre pilares pré-fabricados e blocos de fundação.

A partir da planilha eletrônica para cálculo e dimensionamento de um elemento de fundação pré-moldado é possível a integração de todos os itens estudados, permitindo a inclusão de comparações e conclusões a respeito das resultantes elaboradas.

Após a inserção dos dados, a ferramenta calcula as dimensões geométricas mínimas para a base do colarinho. A mesma calcula e sugere, para análise, a armadura mínima necessária. Apenas o método de cálculo proposto pela ABNT NBR 9062:2017 foi usado nas análises deste artigo.

Análises comparativas foram realizadas na análise das influências dos parâmetros geométricos nas áreas de seção de aço dos cálices e quantidades mínimas de armaduras necessárias. Além disso, o uso de um método de verificação permite entrar com os parâmetros geométricos e a armadura disposta como entrada, para então calcular as forças aplicadas.

### 3.3 Considerações iniciais

Para projetar um cálice de fundação do tipo pré-moldado, foram utilizados valores retirados do exemplo de dimensionamento de cálices de fundação do livro “Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações” (Debs, 2017) para abranger situações de diferentes seções geométricas do pila de 40x40 cm, 50x50 cm e 60x60 cm, 40x60 cm e 60x50 cm. Desta forma foram utilizados:

- Solicitações do colarinho correspondentes à força normal  $N_d = 300 \text{ kN}$ , forças cortantes nas direções x e y  $V_d = 75 \text{ kN}$  e momentos fletores nas direções x e y  $M_d = 400 \text{ kNm}$ ;
- Características dos materiais: concreto do cálice C25 ( $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ ), concreto do pilar C35 ( $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$ ) e aço CA-50 ( $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ ).

Considerando também,

- Paredes internas do cálice e do pilar com interfaces lisas;
- Cobrimento nominal da armadura: na face externa, 35 mm, e na face interna, 20 mm;

- Espaço (nominal) previsto para preenchimento 50 mm;
- Concreto de enchimento: C35 (igual do pilar pré-moldado).

### 3.4 Roteiro de cálculo

Foram realizados os seguintes cálculos para a obtenção da área da seção do aço, segundo as recomendações da norma ABNT NBR 9062:2017.

Cálculo das resistências do projeto dos materiais segundo a equação:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4}$$

O fator utilizado na fração é de 1,4 por se tratar de pré-moldados nestes cálculos, entretanto utiliza-se o fator 1,3 para construções convencionais.

Para o caso de interfaces lisas, o comprimento de embutimento do pilar adotado é verificado:

$$\frac{M_d}{N_d h}$$

Conforme a tabela 1, cabe observar se a situação é de pequena ou grande excentricidade.

Após a verificação, o comprimento mínimo de embutimento ( $l_{emb}$ ) é definido e adotado.

Então a largura interna entre as paredes do colarinho ( $h_{int}$ ) é calculado.

$$h_{int} = h + 2b_j$$

Logo, a espessura mínima do colarinho deve ser adotada de acordo com:

$$h_c = \frac{h_{int}}{4}$$

A seguir, a dimensão externa do colarinho é equivalente a:

$$h_{ext} = h_{int} + 2h_c$$

Continuando, adota-se o embutimento do pilar na fundação como  $0,1l_{emb}$ , então o comprimento do colarinho vale:

$$l_c = 0,9l_{emb}$$

Para o cálculo das armaduras e verificações, é necessário calcular a resultante das pressões na parede frontal do colarinho:

$$H_{fd} = \frac{M_d - N_d \left[ 0,25h + \mu \left( \frac{0,1l_{emb} - 0,75\mu h}{1 + \mu^2} \right) \right] + V_d \left[ l_{emb} - \left( \frac{0,1l_{emb} - 0,75\mu h}{1 + \mu^2} \right) \right]}{0,8l_{emb} + \mu h}$$

Utilizando os valores recomendados de:

$$e_{nb} = \frac{h}{4}$$

$$y = y' = \frac{l_{emb}}{10}$$

- Coeficiente de atrito nas interfaces lisas = 0,3

Continuando, determina-se as pressões na parede posterior e na fundação:

$$H_{pd} = H_{fd} - \frac{V_d + \mu N_d}{1 + \mu^2}$$

$$N_{bd} = \frac{N_d + \mu V_d}{1 + \mu^2}$$

Logo, a armadura principal, que se considera apenas tração na parede frontal e deve ser colocada em cada uma das paredes longitudinais, é calculada de acordo com:

$$A_{shp} = \frac{H_{fd}}{2f_{yd}}$$

Prosseguindo, é verificado o comportamento da parede longitudinal como consolo curto a partir das equações a seguir:

$$tg\beta = \frac{(l_c - y)}{(0,85h_{ext} - h_c/2)}$$

$$R = \frac{H_{fd}}{2\cos\beta}$$

$$\frac{h_{bie}}{2} = 0,15h_{ext}\sin\beta$$

$$\sigma_{cd} = \frac{R}{b_{bie}h_c}$$

Devendo-se atender a seguinte condição:

$$\sigma_{cd} > 0,85f_{cd}$$

Caso não seja atendida, é necessário aumentar a espessura da parede do colarinho até a mesma ser atendida.

Ao final, é realizado o cálculo da armadura vertical principal que deve ser disposta em cada canto do colarinho:

$$F_{vd} = \frac{R}{2}tg\beta$$

$$A_{svp} = \frac{F_{vd}}{f_{yd}}$$

Observando-se que, caso  $\beta = 45^\circ$ , há a coincidência dos valores das armaduras horizontal principal e vertical principal devido a este fator conforme observado na situação tipo 1 na tabela 2.

Logo,

- Horizontal

$$A_{shs} = 0,5A_{shp}$$

- Vertical

$$A_{svs} = 0,5A_{svp}$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise dos resultados da tabela 2 obtidos pela planilha eletrônica, é observado que, com a mudança dos parâmetros das seções, o valor da pressão superior na parede do cálice também influencia na quantidade de armadura necessária para suportar as cargas. Esta comparação é feita por meio de um estudo comparativo de diferentes soluções em relação a ligação pilar-fundação por meio de cálice com interface lisa.

### 4.1 Parametrização da seção do pilar pré-moldado

Para este estudo, foram definidas as seções transversais mais usuais utilizadas em estruturas de concreto pré-moldados para estudo. Desta forma, as seções definidas foram as de 40x40 cm, 50x50 cm, 60x60 cm, 40x60 cm e 60x40 cm.

Ao final, está a tabela com um resumo dos resultados obtidos para as 3 diferentes situações com as variações das seções do pilar ( $h_x$  e  $h_y$ ). Seguindo as recomendações da norma, foram definidos, como os valores mínimos recomendados, a espessura do cálice ( $h_c$ ) e o comprimento de embutimento ( $l_{emb}$ ).

#### 4.2 Influência no comprimento de embutimento ( $l_{emb}$ )

O estudo de caso foi realizado para fazer um comparativo entre os resultados da quantidade mínima de aço necessárias que variam de acordo com as mudanças na área da seção transversal do pilar.

Analisando as situações, é possível observar que o  $l_{emb}$  aumenta de acordo com o aumento das dimensões do pilar, já que o mesmo está diretamente ligado com a medida da seção transversal do pilar. Ao aumentar a seção do pilar de 40x40 cm para 50x50 cm, conforme situações tipo 1 e 2 na tabela 2, por exemplo, há um aumento de 125% no comprimento de embutimento, ocorrendo um aumento de 80 cm para 100 cm, ou seja, há um acréscimo na mesma proporção que houve na alteração das seções.

#### 4.3 Influência no cálculo das armaduras mínimas

No cálculo das armaduras, a armadura horizontal principal ( $A_{shp}$ ) e armadura vertical principal ( $A_{svp}$ ) possuem áreas de seção cada vez menores conforme o comprimento de embutimento aumenta, notando-se que os mesmos são inversamente proporcionais. No caso 1 e 2 da tabela 2, por exemplo, a mudança do comprimento de embutimento de 80 cm para 100 cm, um acréscimo de 25%, resultou em um decréscimo de  $A_{shp}$  de 6,53 cm<sup>2</sup> para 5,32 cm<sup>2</sup>, ou seja, um decréscimo de 18,53%.

No caso da armadura horizontal secundária ( $A_{shs}$ ) e a armadura vertical secundária ( $A_{svs}$ ), com o aumento das seções dos pilares, ocorre um decréscimo na área de sua seção de aço, ou seja, os mesmos estão diretamente ligados à área de armadura horizontal principal ( $A_{shp}$ ) e área de armadura vertical principal ( $A_{svp}$ ), onde, no caso 1 e 2 da tabela 2, por exemplo, a mudança da seção do pilar de 40x50 cm para 50x50 cm ocasiona em uma diminuição nas áreas de armadura secundárias, sendo alterados a ( $A_{shs}$ ) de

3,26 cm<sup>2</sup> para 2,66 cm<sup>2</sup> e ( $A_{svs}$ ) de 3,26 cm<sup>2</sup> para 3,08 cm<sup>2</sup>.

Para as armaduras principais verticais, pode-se observar a grande influência da direção dos esforços predominantes. Neste estudo, os esforços predominantes atuam na direção Y e, ao serem comparadas as armaduras obtidas para as seções transversais dos pilares de 40x60 cm e 60x40 cm, com resultados de 5,19 cm<sup>2</sup> e 6,52 cm<sup>2</sup> respectivamente, é possível observar que quando a direção dos maiores esforços está na mesma direção da maior dimensão do pilar o  $A_{svp}$  é menor.

Observa-se também que, pelo fato de  $\beta=45^\circ$  no caso 1 da tabela 2, há a coincidência dos valores das armaduras horizontais e verticais principais. Nos outros casos, há variação destes valores de acordo com as áreas das armaduras principais.

## 5 CONCLUSÕES

É possível concluir que, a partir da consideração dos resultados obtidos com os estudos comparativos, ao ser realizado o aumento das seções transversais do pilar, apesar do aumento da geometria do cálice, as seções mínimas do aço das armaduras principais requeridas decrescem. Isso ocorre devido a mudança da direção dos esforços predominantes, onde é observado que quando a maior dimensão do pilar está na mesma direção dos maiores esforços, a área da seção principal é menor.

Além disso, o aumento do comprimento de embutimento do pilar do cálice está diretamente ligado à força resultante que atua na parede 1 em que o carregamento atua, reduzindo a quantidade de armadura horizontal principal ( $A_{shp}$ ).

**Tabela: 2 – Influência da seção do pilar na área de aço das seções**

Situação tipo	$h_x$ (cm)	$h_y$ (cm)	$h_c$ (cm)	$l_{emb}$ (cm)	$F_{vd}$ (kN)	$A_{shp}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{svp}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{shs}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{svs}$ (cm <sup>2</sup> )
1	40,00	40,00	18,00	80,00	200,27	6,53	6,52	3,26	3,26
2	50,00	50,00	18,00	100,00	189,60	5,32	6,17	2,66	3,08
3	60,00	60,00	20,00	120,00	171,83	4,51	5,19	2,26	2,59
4	40,00	60,00	20,00	120,00	225,54	4,51	5,19	2,26	2,59
5	60,00	40,00	18,00	80,00	283,45	6,53	6,52	3,26	3,26

---

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.  
**NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.** Rio de Janeiro, 2017;

CAMPOS, G. M. **Recomendações para projeto de cálice de fundação.** 2010. 204 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010;

PIERALISI, R.; MACHADO, R. D. **Influência das recomendações de norma para o cálculo da ligação entre o pilar e a fundação por meio de cálice segundo a ABNT NBR 9062:2006.** Artigo – Universidade Federal do Paraná, Centro de Estudos de Engenharia Civil. Curitiba, 2017.

SOUZA, A.S. **Comportamentos de elementos pré-moldados de concreto com ligações semi-rígidas.** São Carlos, 2006, 118f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, 2006.

EL DEBS, M.K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações.** São Paulo, 2017;