

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CONSOLOS METÁLICOS E DE CONCRETO PRÉ – MOLDADO

Lays Raianne Azevedo da Costa¹

RESUMO

Os sistemas pré-moldados têm como principal característica o fato de serem produzidos em um ambiente industrial, com mais controle de produção e escolha dos materiais. No que se refere a este sistema, as ligações entre os elementos afetam não só a estabilidade global da estrutura, como também a velocidade de montagem na obra. Os consolos e dentes de concreto são um tipo de ligação viga-pilar comumente empregado em estruturas pré-moldadas e possibilitam a transferência de cargas entre vigas e pilares que compõe o sistema. O uso de consolos de concreto, apesar de ser uma das tradicionais formas de ligação, podem trazer impactos no processo produtivo e na estética da estrutura. Diante disso, o uso de elementos metálicos embutidos pode representar uma alternativa em substituição aos elementos de concreto. Este trabalho teve por objetivo realizar um comparativo de custos entre uma ligação com consolo metálico e outra com consolo de concreto, dimensionada para suportar a mesma carga da primeira ligação. Viu-se que a execução do consolo metálico é mais barata, quando se leva em consideração a quantidade de materiais, mas não foram realizadas análises profundas, diante do custo relacionado à mão – de – obra em cada um dos sistemas.

Palavras-chave: Estruturas pré-moldadas, consolos, ligações, estruturas mistas.

INTRODUÇÃO

A pré-moldagem surgiu a partir da industrialização da construção civil, com a utilização de ferramentas e equipamentos sofisticados, possibilitando uma agilidade na produção e qualidade do produto final (PRADO, 2014).

No que se refere a este sistema, as ligações executadas entre os elementos são um aspecto que deve ser observado e planejado ainda na etapa de projeto, pois determinam não só as dimensões dos elementos, mas também o comportamento da estrutura quanto a deslocabilidade e estabilidade, além de ser determinante para a agilidade no processo produtivo e montagem dos elementos.

Os consolos e dentes de concreto são um tipo de ligação viga-pilar comumente empregado em estruturas pré-moldadas e possibilitam a transferência de cargas entre vigas e pilares que compõe o sistema.

Porém, sabe-se que os consolos de concreto apresentam um impacto considerável no processo construtivo, pois se apresentam como pontos de interferência principalmente para a

¹ Mestranda em Engenharia civil da Universidade Federal da Paraíba - PB, laysraianne@ct.ufpb.br; (83) 3322.3222
contato@joinbr.com.br
www.joinbr.com.br

confeção das formas metálicas para pilares, onde o tamanho e o posicionamento dos consolos variam para cada projeto. Além do aspecto produtivo, os consolos de concreto aparentes apresentam aspectos negativos com relação à estética da estrutura pré-moldada (BACHEGA, 2013).

E é por isso que, em muitos casos, o uso de elementos metálicos embutidos pode representar uma alternativa em substituição aos elementos de concreto, mas é necessário que sejam estudados aspectos pontuais referentes ao sistema, de modo a ser escolhida a opção de ligação que melhor atenda às condições de durabilidade e segurança das obras.

Diante disto, este trabalho terá por objetivo estudar consolos metálicos e será realizado um comparativo, em termos da análise de custos, com um consolo de concreto, dimensionado para suportar a mesma carga do primeiro. O consolo metálico citado neste trabalho foi estudado por PRADO (2014).

DESENVOLVIMENTO

Ligações entre elementos em estruturas pré-moldadas e generalidades sobre o sistema pré-moldado

A pré-moldagem surgiu a partir da industrialização da construção civil, com a utilização de ferramentas e equipamentos sofisticados, possibilitando uma agilidade na produção e qualidade do produto final (PRADO, 2014).

Segundo Bacheга (2013), as propriedades de um elemento pré-moldado tendem a ser melhores que as de um elemento moldado *in loco* pela: a) qualidade da produção do concreto, onde em geral se utiliza um maior controle e se utilizam materiais de melhor qualidade e b) pelo controle das peças produzidas, com a utilização de ferramentas metálicas e mão-de-obra trabalhando em um ambiente de fábrica com melhores condições de segurança e saúde.

Nas estruturas pré-moldadas a questão das ligações é muito importante, pois além de transmitirem os esforços, afetam a estabilidade global da estrutura e influenciam no dimensionamento das peças pré-moldadas (PRADO, 2014). É considerada uma região crítica, e, o aspecto ligação pode ser um dos obstáculos para a troca entre estruturas pré-moldadas ou moldadas *in loco*. Diante disto, se destaca a importância de um detalhamento eficiente das ligações nos projetos de estruturas pré-moldadas.

A NBR 9062/2016 recomenda que a capacidade das estruturas pré-moldadas deve ser governada pelo esgotamento da capacidade resistente dos elementos estruturais, e não pelo esgotamento da capacidade resistente das ligações, pois, segundo Bachega (2013) a ligação deve apresentar um comportamento superior ao do elemento conectado.

Consolo

Os consolos são elementos estruturais (balanços bastante curvos) que se projetam de pilares para servir de apoio para outras partes da estrutura. A Figura 1a apresenta um esquema com as dimensões a serem consideradas no dimensionamento de consolos.

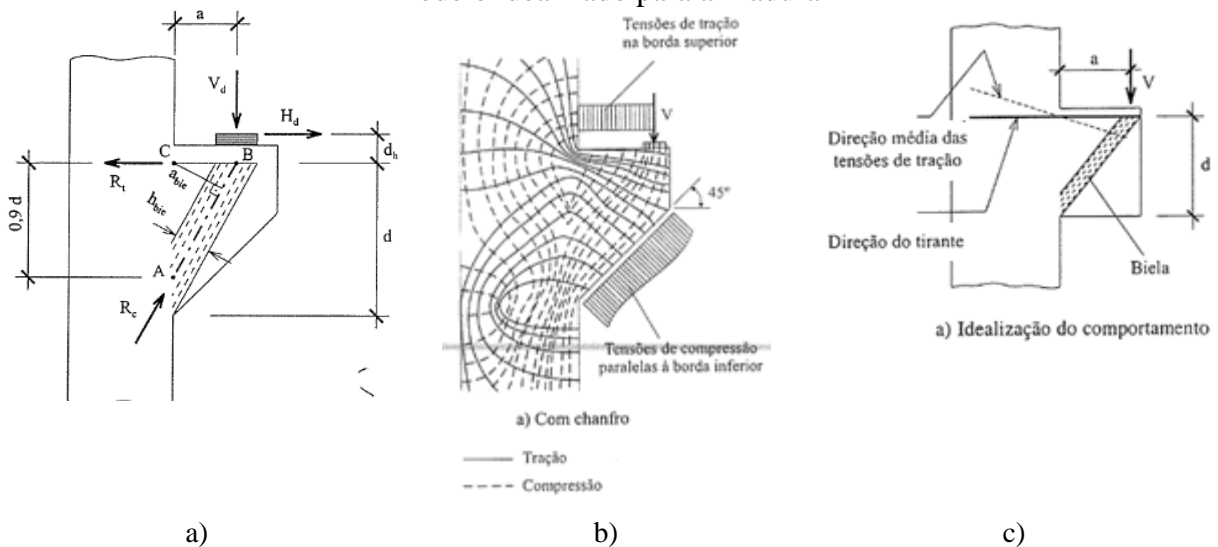
A NBR-9062/85 indica os seguintes procedimentos para o cálculo dos consolos: a) para $1,0 < a/d < 2,0$ – cálculo como viga; b) para $0,5 < a/d \leq 1,0$ (consolo curto) – cálculo com o modelo de biela e tirante; c) para $a/d < 0,5$ (consolo muito curto) – cálculo com o modelo de atrito-cisalhamento.

De acordo com El Debs (2017), o valor de a pode ser considerado como sendo três quartos do comprimento do consolo (l_c). Já o valor de d é altura útil do consolo.

Além da força vertical, deve-se considerar a ocorrência de força horizontal devido à variação volumétrica ou de outras ações, como, por exemplo, a frenagem de pontes rolantes, cujo valor não deve ser considerado menor que 20% da reação vertical. Entretanto, a ABNT – NBR 9062/2016 admite que essa força possa ser reduzida a 0,16% da reação vertical, caso seja utilizada almofada com elastômero (Caso utilizado neste exercício). Também se recomenda a introdução de coeficiente de ajustamento afetando o coeficiente de ponderação das ações, que será de 1,1 no exemplo reproduzido neste trabalho.

Em consolos de concreto, a disposição das armaduras é feita com base nas trajetórias das tensões principais (Figura 1b). Segundo El Debs (2000), é recomendado o emprego de um modelo de treliça simples, formada por barra tracionada, o tirante, e por uma diagonal comprimida (Figura 1c), a biela. Neste sentido, além da armadura do tirante existe uma outra armadura importante disposta na direção horizontal, chamada de armadura de costura.

Figura 1 – Consolos curtos, a) Características geométricas, b) Trajetória de tensões e c) Modelo idealizado para armadura



Fonte: Adaptado de El Debs (2000)

O dimensionamento de um consolo de concreto (geometria e armaduras) é realizado, segundo o roteiro apresentado das equações (1) a (10), seguindo recomendações presentes na NBR 9062/2016 e em El Debs (2017) (As variáveis apresentadas nas formulações, que estão relacionadas à geometria dos consolos estão definidas na Figura 1a):

1. Determinação da altura útil do consolo:

$$d_c = d - \frac{\phi l}{2} - c, \text{ onde } \phi l \text{ é a bitola prevista para o tirante;} \quad (1)$$

2. Cálculo da distância de aplicação da carga:

$$a = \frac{3}{4} * lc, \text{ onde } lc \text{ é o comprimento do consolo;} \quad (2)$$

3. Cálculo da força máxima prevista para a ligação:

$$V_d = \gamma_n \cdot (0,2 f_{cd} \cdot e_c \cdot d_c), \text{ onde } \gamma_n = \text{Coeficiente de ajustamento} = 1,1, f_{cd} = \quad (3)$$

Resistência de cálculo do concreto, e_c = Espessura do consolo e d_c = Altura útil do consolo.

4. Armadura do tirante:

$$A_{s,tir} = \frac{1}{f_{yd}} \cdot \left(\frac{V_d \cdot a}{0,9 d_c} + 1,2 H_d \right), \text{ onde } H_d = \text{Força horizontal} = 0,2 * V_d, f_{yd} = \quad (4)$$

Tensão de escoamento da armadura e a = Ponto de aplicação da carga.

5. Armadura de Costura:

$$A_{sh} = 0,5 \left(\frac{1}{f_{yd}} \cdot \left(\frac{V_d \cdot a}{0,9d_c} \right) \right) \quad (5)$$

6. Armadura vertical (estribos):

$$A_{sv} = 0,2 \cdot A_{s,tir} \quad (6)$$

7. Ancoragem da armadura do tirante: Para evitar a possibilidade de ruptura do concreto na extremidade do consolo, a armadura do tirante foi considerada como ancorada com uma barra transversal soldada à extremidade.

8. Comprimento de ancoragem das barras do tirante (l_b):

$$l_b = \frac{\phi}{4} * \frac{fyd}{fbd} \geq 25\phi \quad (7)$$

$$fbd = \eta1 * \eta2 * \eta3 * fctd \quad (8)$$

$$fctd = \frac{0,21}{1,3} * (fck)^{\frac{2}{3}} \quad (9)$$

$$l_{b,nec} = \alpha * l_b * \frac{As,calc}{As,ef} \quad (10)$$

Segundo BACHEGA (2013), os consolos de concreto apresentam um impacto considerável no processo construtivo, pois se apresentam como pontos de interferência principalmente para a confecção das formas metálicas para pilares, onde o tamanho e o posicionamento dos consolos variam para cada projeto. Além do aspecto produtivo, os consolos de concreto aparentes (dependendo do tamanho) apresentam aspectos negativos com relação à estética da estrutura pré-moldada.

Neste contexto, ainda segundo este autor, surge da necessidade de se estudar alternativas tecnológicas e de engenharia estrutural que permitam projetar consolos que possam ficar embutidos no esqueleto da estrutura viga-pilar, mas que possuam bom desempenho estrutural, resistência aos esforços solicitantes e racionalização construtiva.

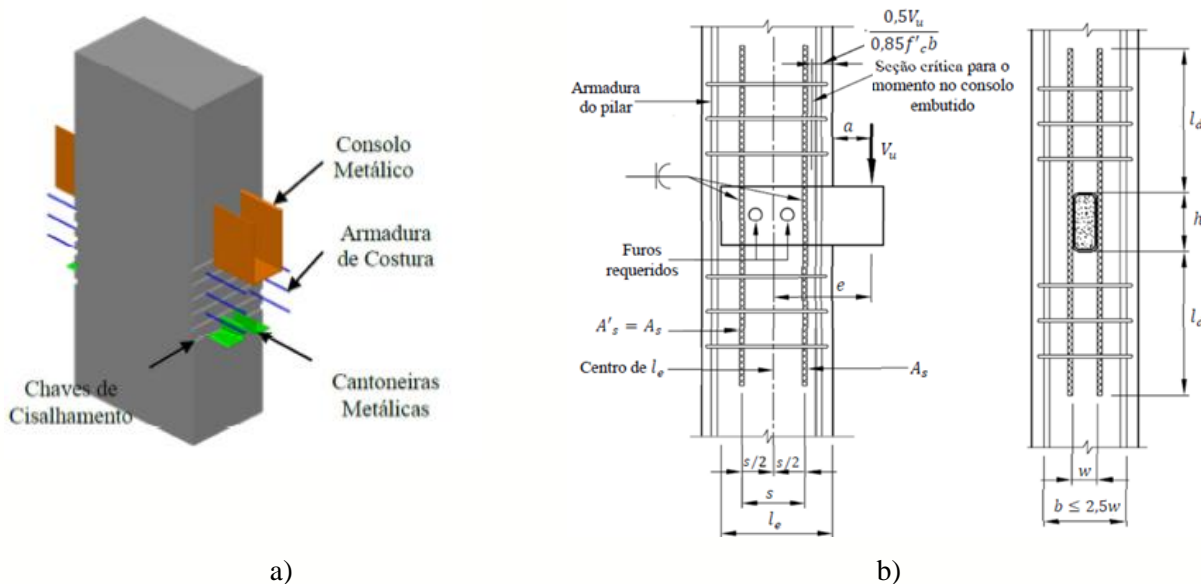
Nesse cenário os consolos metálicos vêm ganhando destaque, pois além de poder substituir os consolos de concreto, o mesmo pode ser mais resistente. Um outro aspecto também relevante nos consolos de concreto é o de que o arranjo das armaduras de aço ancoradas no concreto trabalha conjuntamente com o mesmo para resistir aos esforços, no entanto, a utilização de perfis de aço como consolo são mais simples de serem executados e podem ter maiores resistências (PRADO, 2014).

Consolo metálico

Os consolos metálicos consistem de perfis metálicos dimensionados para desempenhar o mesmo papel dos consolos de concreto. Segundo El Debs (2000), no dimensionamento desses elementos devem ser verificadas a resistência do perfil, que é feito de acordo com procedimentos empregados nas estruturas metálicas, e a resistência do concreto.

O Consolo Metálico Embutido no pilar é responsável por transferir esforços da viga para o pilar, definindo o comportamento da ligação e as características e detalhes executivos (BACHEGA, 2013). A bibliografia apresenta alguns exemplos de aplicação: Consolo metálico embutido no pilar + cantoneiras metálicas (Figura 2a), Consolo metálico embutido com reforço de armadura soldada no perfil (Figura 2b), entre outras variações.

Figura 2 - a) Consolo metálico embutido e b) Armadura adicional soldada



Fonte: a) Trotta (2012, apud PRADO (2014)) e b) PCI (2010 apud PRADO (2014))

No caso de armadura adicional soldada no perfil (Figura 2b), o procedimento de dimensionamento pode considerar a contribuição da armadura na formulação, que ocorre nos dois lados, acima e abaixo do perfil.

As formulações de (11) a (13) apresentam um roteiro de dimensionamento de uma ligação composta por inserto metálico e reforço de armadura lateral, utilizando solda (exemplo numérico deste trabalho). Foram as expressões fornecidas pelo PCI [4.12].

1. Cálculo da resistência do concreto:

$$V_c = \frac{0,85 * f_{cd} * b * l_e}{1 + 3,6 * (a + \frac{l_e}{2}) * l_e}, \text{ onde } V_c = \text{Força resistida pelo concreto, } f_{cd} = \quad (11)$$

Resistência de cálculo à compressão do concreto, b = largura efetiva do bloco de compressão, l_e = Comprimento de embutimento e a = Distância entre o ponto de aplicação da força e a face do pilar.

2. Cálculo da contribuição adicional do reforço de aço soldado no perfil metálico:

$$V_r = (2 * A_s * f_{sd}) / (1 + 6 * \frac{\frac{e}{l_e}}{4,8s - 1}), \text{ onde } V_r = \text{Força adicional devida às} \quad (12)$$

barras de aço soldadas no consolo metálico, f_{sd} = Resistência e cálculo ao escoamento do vergalhão de aço, A_s = Área de aço soldada do perfil metálico, s = Espaçamento de centro a centro da armadura de reforço do consolo metálico;

Se a soma das parcelas V_c e V_r for maior que a força aplicada no consolo, com seu valor de cálculo (V_u), o dimensionamento está correto, caso contrário o dimensionamento não é aceitável. Logo, $V_d = (V_c + V_r)$, com $V_d \geq V_u$, sendo a força aplicada no consolo com o seu valor de cálculo.

3. Resistência de cálculo à flexão e ao cisalhamento do perfil metálico

$$V_n = (Z_p * f_{yd}) / d \text{ e } V_{pl} = 0,6 * f_{yd} * h * t, \text{ onde } V_n = \text{Resistência à flexão} \quad (13)$$

do consolo com seu valor de cálculo, Z_p = Módulo de resistência plástica no perfil de aço, F_{yd} = Resistência de cálculo ao escoamento da chapa de aço, d = Distância do ponto de aplicação até o engaste, h = Altura do consolo metálico, t = Espessura do consolo metálico, V_{pl} resistência ao cisalhamento do perfil metálico.

METODOLOGIA

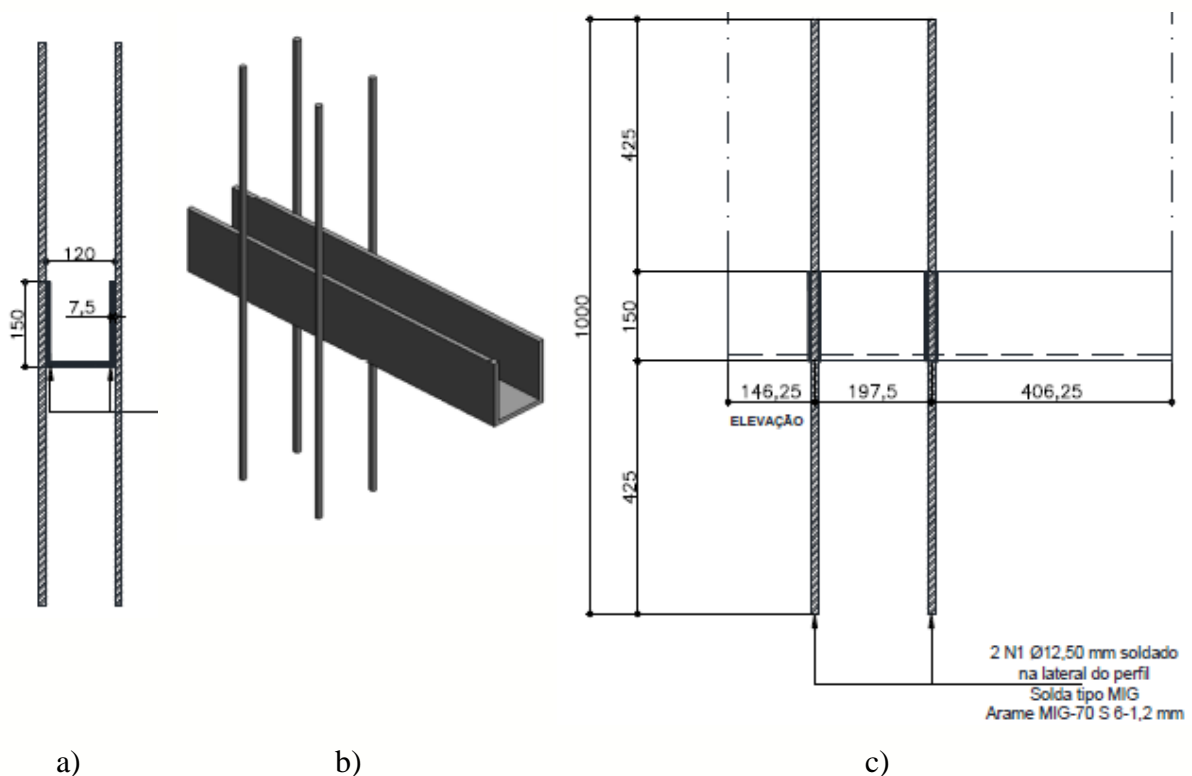
A princípio foi realizado o dimensionamento de um consolo metálico e de um consolo de concreto. Em seguida, a fim se comparar os custos das ligações, foi realizado um levantamento dos quantitativos de materiais necessários para a execução destas ligações e uma estimativa de orçamento, com base nos preços dos insumos extraídos da tabela Sinapi, com referência ao mês de maio de 2018.

Para o dimensionamento do consolo metálico, cujo esquema de ligação é apresentado na Figura 3, foi utilizada a metodologia de dimensionamento descrita por Prado (2014). Para

fins deste comparativo também foram utilizados os resultados, em termos de capacidade resistente da ligação metálica, que foram encontrados pela autora e maiores detalhes sobre o dimensionamento realizado poderão ser encontrados em Prado (2014). As variáveis referentes à capacidade resistente do perfil metálico foram calculadas conforme recomendações da NBR 8800/2008 e PCI (2010)

Após o dimensionamento do consolo metálico, foi utilizada a capacidade final desta ligação para realizar o dimensionamento de um consolo de concreto pré-moldado, utilizando o roteiro de dimensionamento apresentado entre as equações de (1) a (10).

Figura 3 – Esquema de ligação do consolo dimensionamento neste trabalho



Fonte: PRADO (2014)

A Tabela 1 apresenta as variáveis referentes à geometria da ligação que foram consideradas neste exemplo, além das variáveis relacionadas à capacidade resistente do perfil de aço e do concreto.

Tabela 1 - Variáveis da ligação consideradas no exemplo

Variável	Valor arbitrado	Unidade
Geometria Ligação		
b	30	cm
le	45	cm
e	37,5	cm
s	19,75	cm
fck	4,5	kN/cm ²
fy	50	kN/cm ²
a	15	cm
Ø armadura de reforço	12.5	mm
Comprimento armadura de reforço	1000	mm
Perfil metálico		
h	150	mm
w	105	mm
t	7,5	mm
E (Módulo de Elasticidade do aço)	20000	kN/cm ²
fy	25	kN/cm ²
Zp (Módulo de Resistência Plástico)	130,2	cm ³
Wx (Módulo de resistência elástico)	83,99	cm ³

No que se refere ao consolo de concreto, a carga utilizada para o dimensionamento se refere ao valor final de capacidade resistente que foi obtida para a ligação do consolo metálico, e que será apresentado no capítulo de resultados.

Para simplificar os cálculos do elemento em concreto pré-moldado, foi considerado uma geometria de consolo sem chanfros, cuja altura é igual a espessura. O valor de “a”, referente a distância da carga ao pilar também foi o mesmo do considerado no exemplo do consolo metálico. No que se refere às propriedades dos materiais, de maneira análoga a PRADO (2014), foi considerado Aço CA-50 e fck de 45 Mpa. Foi adotada uma bitola de 12.5mm para o tirante e um cobrimento de 2,5 cm, diante da determinação da altura útil do consolo. Para o dimensionamento, foi utilizado o roteiro apresentado entre as equações de (1) a (10). Os resultados obtidos para o dimensionamento, o levantamento dos quantitativos e o orçamento dos materiais são apresentados no capítulo de Resultados a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta dos valores obtidos diante do dimensionamento do consolo metálico e dos consolos de concreto.

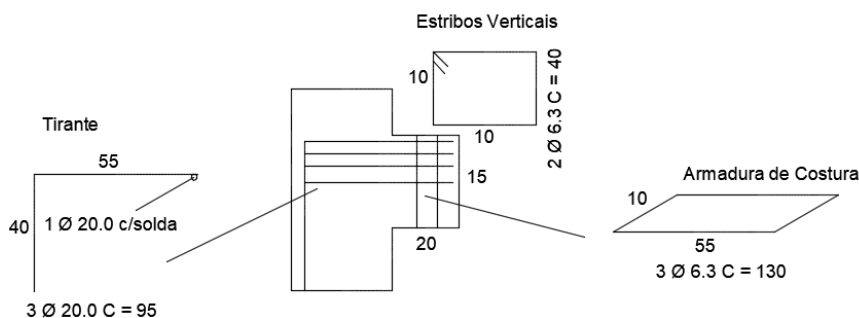
Tabela 2 - Valores obtidos após dimensionamento dos consolos

Variável	Resultado	Unidade
Dimensionamento do consolo metálico		
Vc (Parcela Resistida pelo concreto)	1290,94	kN
Vr (Parcela resistida pelas armaduras)	89,16	kN
Vd (Parcela Resistida pelo concreto e armaduras laterais)	1380,00	kN
Vn (Resistência à flexão do consolo)	204,91	kN
d (Distância do ponto de aplicação da carga ao engaste)	158,90	mm
Vpl (Resistência ao cisalhamento do Perfil metálico)	337,50	kN
Mr (Momento fletor de início de escoamento)	2099,75	kN.cm
Mpl (Momento fletor de plastificação)	3150,00	kN.cm
Força máxima resistida pelo perfil associada ao momento de plastificação	198,10	kN
Força máxima resistida pelo perfil associada ao momento de início de escoamento	132,00	kN
Dimensionamento do consolo de concreto		
Força vertical de cálculo (capacidade máxima da ligação do consolo metálico)	132,00	kN
Aplicação da carga (Mesma que a do consolo metálico)	15,00	cm
Comprimento do consolo	20,00	cm
Espessura do consolo = Altura do consolo	15,00	cm
Altura útil do consolo	10,24	cm
A _{s,tir} (armadura do tirante) → (3 Ø20.0)	7,94	cm ²
A _{sh} (armadura de costura) → (6 Ø6.3)	3,45	cm ²
A _{sv} (armadura vertical dos estribos) → 4 Ø6.3	1,98	cm ²

A ancoragem do tirante foi realizada com barras de 20.0 mm soldadas.

A Figura 4 apresenta o detalhamento do consolo dimensionado. A disposição das armaduras foi realizada segundo recomendações de El Debs (2017).

Figura 4 - Detalhamento do consolo dimensionado



Com relação ao quantitativo e orçamento dos materiais, a Tabela 3 apresentam um resumo com o quantitativo de aço e concreto necessários para a execução de cada consolo. Na mesma tabela também foram apresentados os respectivos custos, que foram extraídos da Tabela Sinapi, com referência de maio de 2018.

Tabela 3 - Resumo de materiais e custo total para a execução das ligações

Elemento	Und.	Quantidade	Custo unitário	Custo total
Consolo metálico				
Perfil Metálico	kg	16,65	4,08	67,93
Aço CA - 50 - Ø 12.5	kg	1,93	6,53	12,58
Total (R\$)				80,51
Consolo de concreto				
Concreto C-45	m ³	0,0045	385,36	1,73
Aço CA-50 - Ø20.0	kg	34,86	4,78	166,63
Aço CA-50 - Ø6.3	kg	1,28	4,78	6,13
Formas	m ²	0,12	43,45	5,21
Total (R\$)				179,70

Considerando apenas os materiais empregados, se constata que a execução de consolos como elemento metálico embutido é mais barata, porém, não foram considerados os custos inerentes à contenções adicionais; além disso, o uso de elementos metálicos como consolo ainda não é muito comum, o que se leva a refletir acerca da especialização da mão-de-obra que executará tal ligação, que poderá onerar o processo. Conforme discutido anteriormente, a correta execução da ligação em estruturas pré-moldadas é muito importante para se garantir a durabilidade e correto funcionamento do sistema, e tal aspecto deve ser levado em consideração antes de que qualquer outra decisão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final do exposto trabalho é possível fazer as seguintes considerações:

As dimensões obtidas para um consolo de concreto, utilizando a capacidade de carga de uma ligação executada com inserto metálico não foi muito diferente das observadas para os últimos;

O orçamento para a execução de uma ligação (para resistir à mesma carga) em consolo de concreto se mostrou mais cara do que a executada para um consolo metálico. É válido mencionar que na análise foram considerados apenas os materiais a serem utilizados na ligação e não estão inclusos os gastos com mão-de-obra ou possíveis contenções que venham a ser necessárias nos sistemas; vale salientar, que no caso de consolos metálicos, por ser um sistema ainda pouco utilizado, a necessidade de mão-de-obra especializada pode se constituir como um obstáculo para a utilização deste tipo de ligação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas e aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

PRADO, L. P. Ligações de montagem viga-pilar para estruturas de concreto pré-moldado – estudo de caso. Dissertação de mestrado. São Paulo: Ufscar, 2014.

BACHEGA, L.A., Estudo teórico-experimental da ligação viga-pilar com consolo metálico embutido em estruturas pré-moldadas de concreto. Dissertação de mestrado, São Carlos: Ufscar, 2013.

EIDebs, Mounir Khalil. Concreto pré-moldado: Fundamentos e aplicações. São Carlos: EESC-USP, 2000.

EIDebs, Mounir Khalil. Concreto pré-moldado: Fundamentos e aplicações. São Carlos: EESC-USP, 2017.

PRECAST CONCRETE INSITUTE. Design Handbook: Precast and prestressed concrete. 7 ed. Chicago, Illinois, 2010.

SINAPI – Índices da Construção Civil. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>.> Acesso em: 8 de julho de 2018.