

ENGENHARIA CIVIL

LUCAS DIAS DE OLIVEIRA

CLAUDIO SILVA CARVALHO

DIMENSIONAMENTO DE CONSOLOS PRÉ FABRICADOS

ATIBAIA -SP

2021

ENGENHARIA CIVIL

LUCAS DIAS DE OLIVEIRA

CLAUDIO SILVA CARVALHO

DIMENSIONAMENTO DE CONSOLOS PRÉ FABRICADOS

**Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro
Universitário UNIFAAT, para obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.**

Orientadora: Carolina Alvares Camillo Raymundo

ATIBAIA - SP

2021

Oliveira, Lucas Dias de
O48d Dimensionamento de consolos pré-fabricados. / Claudio Silva Carvalho
- 2021.
76 f.; 30 cm.

Orientação: Carolina Alves Camillo Raymundo

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Faculdades Atibaia,
como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil
do Centro Universitário UNIFAAT, 2021.

1. Consolo 2. Concreto pré-moldado 3. Consolo curto I. Carvalho, Claudio
Silva II. Raymundo, Carolina Alves Camillo III. Título

CDD 690

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho aos nossos pais, pelo exemplo de coragem e simplicidade em sua vida, e com muito carinho me ensinou o caminho da justiça e da gratidão, e a esposa e filhos e todos os meus colegas de curso que contribuíram para o meu crescimento e aprendizagem.

ENGENHARIA CIVIL

AGRADECIMENTO

A DEUS, que nos deu força e coragem para vencer todos os obstáculos e dificuldades enfrentadas durante o curso, que nos socorreu espiritualmente, dando-me serenidade e forças para continuar.

A nossas famílias, com eles compartilho a realização deste trabalho que é um dos momentos mais importante das nossas vidas.

A professora, Carolina Álvares Camillo Raymundo nossa orientadora, pelo seu incansável e permanente encorajamento, pela disponibilidade dispensada e sugestões que foram preciosas para a concretização deste trabalho.

A todos dessa instituição (UNIFAAT) que permitiram que nós chegássemos onde estamos. Meus colegas de classe que foram verdadeiros companheiros.

Agradecemos especialmente aos professores, que nos incentivaram a continuar lutando com garra e coragem e ao desempenho dos mesmos.

RESUMO

Estruturas pré-fabricadas têm passado por um aumento de demanda, por conta do planejamento, facilidade de montagem, padronização das peças e diminuição do desperdício em obras aumentando assim sua produtividade. Faz-se necessário o estudo detalhado dos consolos, pois se tratando de peças pré-fabricadas, o desafio é justamente as juntas entre vigas e pilares, que devem ser dimensionadas de forma que atendam as necessidades estruturais de estabilidade em relação aos esforços solicitados nos pórticos estruturais. Em um sistema estrutural, nas juntas e consolos é onde se obtém a maior quantidade de esforços, e curiosamente se encontram as menores áreas concretadas da peça. Consolos são elementos estruturais prismáticos que servem de apoio para outros elementos estruturais, comumente usados para transferir esforços de vigas a pilares, especialmente em ligações de estruturas pré-fabricadas. A produção em série é muitas vezes prejudicada pela necessidade da confecção de consolos em diferentes posições nas peças pré-moldadas. O trabalho irá identificar e caracterizar diferentes tipos de consolos pré-fabricados e considera os métodos aplicáveis para o seu dimensionamento, recomendados pelas normas NBR 9062:2017 e NBR 6118:2014. O detalhamento das armaduras e composição estrutural será mostrada também a partir dessas definições. Mais especificamente, pretende-se criar um roteiro de cálculo para o dimensionamento de consolos pré-fabricados de acordo com a tipologia adotada para estudo neste trabalho. Neste trabalho, serão enfatizados os consolos curtos de concreto. Será estudada ainda a forma de empregar o método para execução de acordo com as normas regulamentadoras e conferir sua eficiência.

Palavras-chave: Consolo. Concreto pré-moldado. Consolo Curto

ENGENHARIA CIVIL

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Primeira Construção pré-fabricada do Brasil	16
Figura 2 - Sistema estrutural pré-fabricado atualmente	18
Figura 3 - Ligação viga-pilar de face (Tipo I).....	19
Figura 4 - Ligação viga-pilar de extremidade (Tipo II).....	20
Figura 5 - Tipos de ligações viga-pilar	21
Figura 6 - Detalhamento da seção de consolo curto.....	22
Figura 7 - Consolo duplo em canteiro	23
Figura 8 – Consolos implementados para multipavimentos.....	23
Figura 9 – Consolo de perfil metálico embutido	24
Figura 10 – Consolo metálico implementado á estrutura.....	25
Figura 11 - Esquema da Ligação	25
Figura 12- Trajetória das forças em uma ligação viga-pilar durante a montagem.	26
Figura 13- Trajetória das forças em uma ligação viga-pilar após a montagem (liga solidarizada).	27
Figura 14 - Armadura da extremidade de viga com estribos e barras dobradas	28
Figura 15 - Shear box pré-fabricada (perfil metálico de Seção Retangular Oca).	29
Figura 16 - Modelo de comportamento do tarugo metálico na estrutura	30
Figura 17 - Detalhamento da seção do pilar	31
Figura 18 - Módulo de deformação plástica para perfis retangulares vazados.	34
Figura 19- Modelo de funcionamento do tarugo metálico no concreto	35
Figura 20 - Armadura adicional quando há sobreposição de tensões no concreto.....	36
Figura 21 - Armadura típica de um consolo curto	39
Figura 22 - Modelo de Atrito Cisalhamento.....	41
Figura 23 - Modelo de Consolo curto (Biela-Tirante)	42
Figura 24 - Modelo de consolo curto.....	46
Figura 25 - Detalhe sobre armadura de suspensão.....	47

ENGENHARIA CIVIL

Figura 26 – Modelo biela-tirante para consolo curto	53
Figura 27 - Armadura típica de um consolo curto	54
Figura 28- Representação dos nós em consolo simples e consolo duplo	56
Figura 29 - Detalhamento do apoio	59
Figura 30 - Representação do consolo para roteiro de cálculo.....	60
Figura 31- Tabela área de aço da seção conforme número de barras	65
Figura 32– Detalhamento Geral do Consolo	66
Figura 33– Detalhamento no corte A-A.....	67
Figura 34– Detalhamento no corte B-B.....	67
Figura 35– Detalhamento na Biela e Tirante.....	68
Figura 36 – Detalhamento nos Estribos Verticais	68
Figura 37 – Detalhamento nos Estribos Horizontais	69
Figura 38 - Trajetórias de tensão em consolos.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores dos coeficientes β_s e β_c	49
--	-----------

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira

PCI – Precast / Prestressed Concrete Institution

FIB – Fédération Internationale Du Béton

SUMÁRIO

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 JUSTIFICATIVA	12
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.3 METODOLOGIA	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 DEFINIÇÕES E CLASSIFICAÇÕES	15
2.1.1 Elemento pré-fabricado	15
2.1.2 Ligações	19
2.1.3 Ligações por meio de consolos.....	22
3. CONSOLO METÁLICO EMBUTIDO.....	24
3.1 Características Principais	25
3.2 Método PCI (2010)	30
3.3 Método FIB (2011)	34
4. CONSOLO DE CONCRETO PRÉ-FABRICADO	38
4.1 COMPOSIÇÃO ESTRUTURAL.....	38
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CONSOLOS.....	40
4.2.1 Consolos muito curtos (Modelo Atrito – Cisalhamento)	40
4.2.2 Consolos curtos (Biela-Tirante)	41
5. DIMENSIONAMENTO	42
5.1 DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A NBR 9026:2017	43
5.1.1 Hipótese de cálculo	45
5.1.2 Verificação da biela comprimida.....	45
5.1.3 Tirante.....	48

ENGENHARIA CIVIL

5.1.4	Armadura de Costura	49
5.1.5	Armadura Transversal	50
5.1.6	Armadura de Suspensão	50
5.2	CONDICIONANTES SEGUNDO A NBR 6118:2014.....	50
5.2.1	Comportamento estrutural	50
5.2.2	Modelo de cálculo	52
5.2.3	Armadura do tirante	52
5.2.4	Aparelho de apoio	54
5.2.5	Armadura de costura	55
5.2.6	Armadura de suspensão.....	55
5.3	DIMENSIONAMENTO SEGUNDO PCI (2010).....	55
6.	ROTEIRO DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DE CONSOLO CURTO DE CONCRETO	58
6.1	Cálculo dos esforços verticais	59
6.2	Definição das dimensões da seção do consolo de concreto	60
6.3	Cálculo das tensões na região de apoio e biela comprimida	61
6.4	Cálculo das áreas de aço (tirante e estribos).....	63
6.5	Definição do diâmetro das ferragens	64
6.6	Detalhamento da armadura do consolo.....	65
7.	CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
8.	REFERÊNCIAS	72

1. INTRODUÇÃO

A industrialização da construção, cada vez mais, torna-se necessária para o crescimento do país. Do ponto de vista das estruturas das edificações, este processo pode ser alcançado com o emprego de elementos pré-fabricados de concreto. Isso, devido à capacidade da pré-fabricação em atender, em tempo hábil e com alto padrão de qualidade, as necessidades do mercado, o qual se tem apresentado exigente não só em relação a prazos e custos, mas também ao desempenho e à durabilidade. O maior controle de qualidade utilizado na confecção das peças de concreto em fábricas, quando comparadas às estruturas moldadas no local, faz com que as primeiras apresentem, notadamente, maior durabilidade.

O aspecto que se apresenta como principal obstáculo na pré-moldagem de estruturas é a necessidade das ligações entre os elementos. Elas são os pontos mais importantes das estruturas pré-moldadas, com papel relevante não só na distribuição de esforços na estrutura como também em sua estabilidade. É devido à sua notável relevância que as ligações são objetos de inúmeras pesquisas na área do concreto pré-moldado.

Dentre os componentes das ligações, destacam-se os consolos, que são os mais utilizados em diversos tipos de ligações: viga-pilar, viga-viga, laje-viga, laje-pilar e laje-parede.

No entanto, para que a pré-fabricação acompanhe essa evolução e continue mostrando-se competitiva é necessário que as empresas invistam em inovação e otimização dos processos produtivos, a fim de minimizar ou até mesmo eliminar os entraves decorrentes do sistema, e com isso se faz adequada a utilização da técnica do concreto de alto desempenho, com a evolução do cálculo estrutural notada nos últimos anos, muito disso em decorrência do desenvolvimento de novas e sofisticadas ferramentas computacionais, aliado com um maior conhecimento do comportamento e da microestrutura dos materiais utilizados, se possibilita, cada vez mais, o projeto de estruturas mais arrojadas e de maior desempenho. Nesse tipo de aplicação, os chamados concretos convencionais muitas vezes deixam de atender os requisitos estruturais necessários, evidenciando a necessidade da utilização de concretos de maior desempenho.

ENGENHARIA CIVIL

O emprego mais racional desse material também leva ao melhor aproveitamento dos recursos naturais, reduzindo os efeitos negativos no meio ambiente, pois as estruturas passam a ter maior durabilidade e o consumo de matéria-prima passa a ser menor. Uma evidência disso é o relatório do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, que quantificou o consumo anual no Brasil de cimento Portland, material utilizado na produção de concreto, em torno de 65,3 milhões de toneladas para o ano de 2015. E por menor que seja a diminuição no consumo, por se tratar de um material amplamente utilizado, os impactos já seriam significativos.

1.1 JUSTIFICATIVA

Estruturas pré-fabricadas têm passado por um aumento de demanda, por conta do planejamento, facilidade de montagem, padronização das peças e diminuição do desperdício em obras aumentando assim sua produtividade. Faz se necessário o estudo detalhado dos consolos, pois se tratando de peças pré-fabricadas, a maior discussão e desafio é justamente as juntas entre vigas e pilares, que devem ser dimensionadas de forma que atendam as necessidades estruturais de estabilidade em relação aos esforços solicitados nos pórticos estruturais. Em um sistema estrutural, nas juntas e consolos é onde se obtém a maior quantidade de esforços, e curiosamente se encontram as menores áreas concretadas da peça.

De acordo com Luizetto (2014), a maior dificuldade na fabricação industrial de consolos encontra-se no padrão de uniformidade das peças, pois as formas metálicas existentes nos pilares e vigas não englobam a regulagem de altura para os consolos e elementos de apoio, sendo assim submetidos às dimensões (altura e largura) padrões da viga implementada na estrutura, à fim de suportar os esforços solicitados. A partir desta afirmação, conclui-se que o consolo merece um cuidado à parte para cada caso específico. Além dessa particularidade, a implementação do consolo é feita em mais de uma fase, sendo necessária uma segunda fase de montagem e concretagem exclusiva para o consolo.

Por conta da falta de padronização para a fabricação das juntas e consolos, são encontradas algumas maneiras e métodos para sua execução, de acordo com a praticidade e facilidade para cada caso específico, o que possibilita variadas formas de execução dessas peças. Pela complexidade de cada caso em específico e variação de formas de acordo com a necessidade do sistema estrutural, considera-se neste trabalho a importância de estudos mais aprofundados para detalhar os métodos mais comuns e assertivos para seu dimensionamento e execução.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo geral:

Este trabalho tem como objetivo geral identificar diferentes tipos de consolos pré-fabricados e adotar métodos para o seu dimensionamento, recomendados pelas normas NBR 9062:2017 e NBR 6118:2014. Definir suas estruturas, tratando detalhadamente sua composição e caracterizando seus comportamentos quando já implementados à estrutura e assim, buscando um aprimoramento quanto à sua aplicação.

Objetivos específicos:

Mais especificamente, pretende-se criar um roteiro de cálculo para o dimensionamento de consolos pré-fabricados de acordo com a tipologia adotada para estudo neste trabalho. Neste trabalho, são enfatizados os consolos curtos de concreto. O Presente trabalho estuda ainda a forma de empregar o método para execução de acordo com as normas regulamentadoras e conferir sua eficiência.

1.3 METODOLOGIA

Na metodologia adotada, com base nos materiais bibliográficos analisados, o projeto de pesquisa define as tipologias e funções dos consolos pré-fabricados. Ainda, analisam-se trabalhos acadêmicos e técnicos que tratam do dimensionamento e aplicação dos consolos em sistemas estruturais pré-fabricados. Deste modo, pode-se distinguir o comportamento dos consolos em mais de uma situação de aplicação.

Para referenciar a pesquisa de maneira segura, serão exemplificados os principais materiais que envolvem o dimensionamento de consolos pré-fabricados para as situações estudadas e colocadas em questão neste trabalho, além da roteirização para execução dos cálculos dimensionais.

Após o levantamento e análise destes dados e da revisão bibliográfica, será desenvolvida uma planilha para o dimensionamento da tipologia de consolo selecionada, com a finalidade de facilitar o desenvolvimento do cálculo dimensional e desenvolver um roteiro de cálculo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com o foco do presente estudo, onde será abordada o dimensionamento de consolos pré-fabricados, julga-se necessário primeiramente revisar alguns conceitos e definições essenciais em relação aos materiais e componentes de um consolo pré-fabricado, bem como sua função, utilização e atuação dentro do mesmo.

2.1 DEFINIÇÕES E CLASSIFICAÇÕES

2.1.1 Elemento pré-fabricado

Apesar de não haver data precisa, nota-se que o emprego dos elementos pré-fabricados se deu no século XX. De acordo com Vasconcelos (2002), o nascimento do concreto armado ocorreu com a pré-moldagem de elementos fora do seu local de uso. Acredita-se que a primeira aplicação de elementos pré-moldados em estruturas foi realizada na França, em 1981, utilizando-se vigas pré-moldadas na construção do Cassino de Biarritz (VASCONCELOS, 2002).

Na primeira década do século XX, nos EUA e Europa principalmente, registrou-se grandes avanços na tecnologia de concreto pré-moldado, tais como:

- Em 1900, surgiram nos EUA os primeiros elementos pré-moldados de grandes dimensões para cobertura;
- Foram executados elementos pré-moldados de pisos para um edifício de quatro andares nos EUA, em 1905;
- foram produzidos, em 1906, os primeiros elementos pré-fabricados na Europa, que foram treliças e estacas de concreto armado;
- a Edison Portland Corporation, pertencente a Thomas Alva Edson, em 1907, produziu, no canteiro, todas as peças pré-moldadas para construção de um edifício industrial nos EUA; (VASCONCELOS, 2002)

Ainda de acordo com Vasconcelos (2002), a popularização do emprego do concreto armado na construção civil se deu no final do século XIX e início do século XX.

ENGENHARIA CIVIL

Dessa época até o final da 2ª Guerra Mundial em 1945, o desenvolvimento dos pré-moldados de concreto acompanhou o desenvolvimento do concreto armado e protendido, tendo como exemplos seus empregos na construção de galpões. A primeira construção pré-fabricada do Brasil refere-se ao hipódromo da Gávea, construído no ano de 1926 (figura 1). A necessidade das construções em larga escala, a falta de mão de obra e o avanço da tecnologia após a segunda guerra impulsionaram o emprego do concreto pré-moldado na Europa, notando-se também em habitações e pontes.

Figura 1 - Primeira Construção pré-fabricada do Brasil



Fonte: LEONARDI: <https://leonardi.com.br/historico-do-pre-fabricado/>

Salas (1988) considera a utilização dos pré-fabricados de concreto dividida nas três seguintes etapas:

- De 1950 a 1970 – período em que a falta de edificações ocasionadas pela devastação da guerra, houve a necessidade de se construir diversos edifícios, tanto habitacionais quanto escolares, hospitais e industriais. Os edifícios construídos nessa época eram compostos de elementos pré-fabricados, cujos componentes eram procedentes do mesmo fornecedor, constituindo o que se convencionou de chamar de ciclo fechado de produção.

ENGENHARIA CIVIL

- De 1970 a 1980 – Período em que ocorreram acidentes com alguns edifícios construídos com grandes painéis pré-fabricados. Esses acidentes provocaram, além de uma rejeição social a esse tipo de edifício, uma profunda revisão no conceito de utilização nos processos construtivos em grandes elementos pré-fabricados. Neste contexto teve o início do declínio dos sistemas pré-fabricados de ciclo fechado de produção.
- Pós 1980 – Esta etapa caracterizou-se, em primeiro lugar, pela demolição de grandes conjuntos habitacionais, justificada dentro de um quadro crítico, especialmente de rejeição social e deterioração funcional. Em segundo lugar, pela consolidação de uma pré-fabricação de ciclo aberto, à base de componentes compatíveis, de origens diversas.

“A industrialização de componentes destinados ao mercado e não, exclusivamente, às necessidades de uma só empresa é conhecida como ciclo aberto”. (BRUNA, 1976)

Sistemas pré-fabricados de “ciclos abertos” surgiram na Europa com a proposta para uma pré-fabricação de componentes com um padrão especificado, para assim poder associar-se a produtos de outros fabricantes, onde a modulação e a padronização de componentes acarretam na compatibilidade entre os elementos e subsistemas (figura 2), conforme indica Ferreira (2003).

De acordo com El Debs (2000), a principal característica dos elementos pré-fabricados, é a facilidade de sua execução. Entretanto, um dos principais problemas a se resolver nessa área é justamente a necessidade das ligações feitas entre esses elementos, visto que, as ligações são as partes onde se concentram as partes das estruturas de apoio, sendo de extrema importância na composição do elemento pré-fabricado e do próprio pórtico estrutural.

ENGENHARIA CIVIL

Figura 2 - Sistema estrutural pré-fabricado atualmente



Fonte: Marka Soluções Pré-Fabricadas

Segundo a norma ABNT NBR 9062:2017, um elemento pré-fabricado se trata de elemento pré-moldado executado de forma industrial em instalações permanentes de empresas próprias do seguimento, e que contenham propriedades para as especificações que definem o elemento, tais como:

- Mão de obra treinada e especializada
- Matéria prima qualificada previamente e posteriormente por ensaios adequados que avaliam desempenho, qualidade e inspeção do processo de produção, a fim de checar a conformidade do produto recebido com os valores especificados nas informações dos produtos.
- Concreto utilizado de acordo com as especificações da norma ABNT NBR 12655:2015 e com um desvio padrão máximo de 3,5 MPa, considerado na determinação da resistência à compressão de dosagem, exceto para peças com abatimento nulo.
- Elementos produzidos com máquinas e equipamentos industriais que racionalizam e qualificam o processo.

ENGENHARIA CIVIL

- Elementos submetidos a um processo de cura com temperatura controlada após moldagem.

2.1.2 Ligações

Entende-se como ligações, dispositivos utilizados para compor um conjunto estrutural a partir de seus elementos, com a finalidade de transmitir os esforços solicitantes, em todas as fases de utilização, dentro das condições de projeto, mantendo a durabilidade ao longo da vida útil da estrutura, conforme definição da ABNT NBR 6118:2014 e da ABNT NBR 15575:2013, quando for aplicável.

No projeto das ligações, são consideradas a estabilidade geral da estrutura montada e a estabilidade durante a fase da montagem. O mesmo deve ser feito após minucioso estudo das possíveis solicitações em serviço e na fase de montagem. Devem ser consideradas as solicitações provenientes de variações volumétricas da estrutura, tais como retração, fluência e variação de temperatura. (ABNT NBR 9062:2017)

De acordo com a norma NBR 9062:2017, as ligações devem ter a mesma durabilidade que os elementos da estrutura. Quando isto não for possível, deve ser prevista no projeto a possibilidade de inspeção, reparo e troca dos componentes que compõem a ligação.

As ligações viga-pilar existentes em uma estrutura de concreto pré-moldada situam-se nas faces e nas extremidades dos pilares, conforme indicam as figuras 3 e 4.

Figura 3 - Ligação viga-pilar de face (Tipo I)



Fonte: Bachega (2013)

Figura 4 - Ligação viga-pilar de extremidade (Tipo II).



Fonte: Bachega (2013)

Dentre as classificações dos tipos de ligação, encontram-se duas variações. As ligações visíveis na figura 3 são classificadas como do Tipo I, onde o elemento vertical é contínuo e liga-se a elementos horizontais, subdivididas em:

Categoria A – ligações embutidas

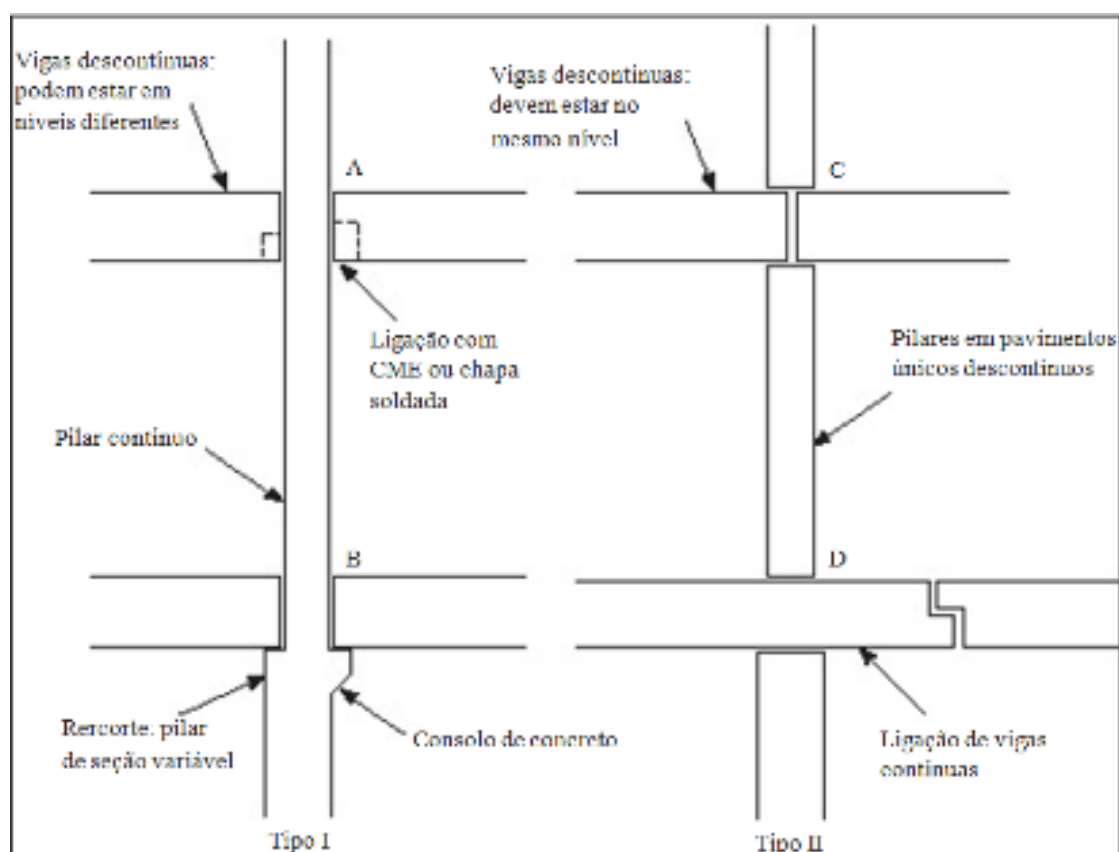
Categoria B – ligações visíveis

As ligações visíveis na figura 4 são classificadas como Tipo II, onde o elemento vertical não é contínuo à fins de execução, ligando-se à elementos horizontais contínuos ou separados por meio de junção, dividindo-se em:

Categoria C – ligações de cabeça de pilar

Categoria D – ligações de vigas contínuas

Figura 5 - Tipos de ligações viga-pilar



Fonte: Elliott (2002)

Os consolos geralmente são a solução para ligações de vigas a pontos intermediários dos pilares. Podem ser ligados às vigas, entretanto são geralmente ligados aos pilares, se tratando de estruturas pré-fabricadas (BACHEGA, 2013).

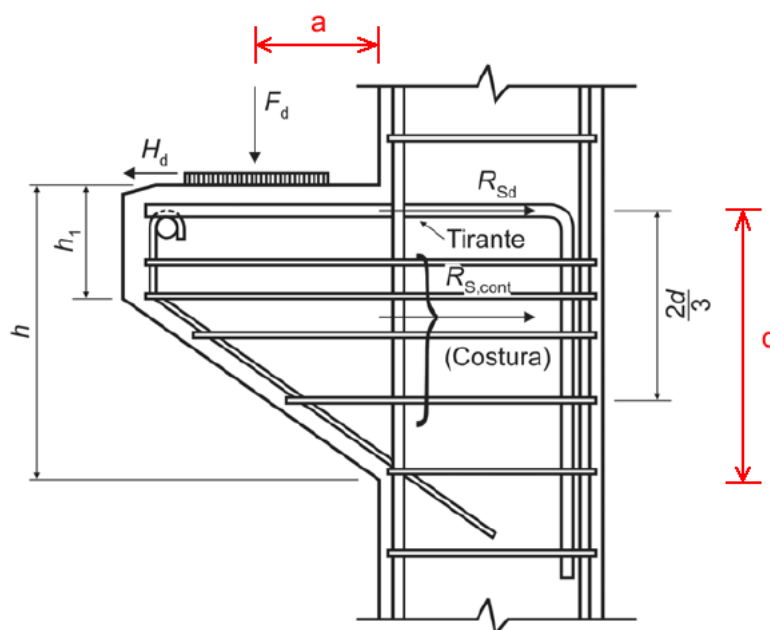
2.1.3 Ligações por meio de consolos

O Consolo define-se por um elemento que compõe um sistema de estrutura, projetando-se de pilares ou paredes, servindo de apoio para outras partes da estrutura. Possuem balanços muito curtos, merecendo um tratamento a parte, dispensado as vigas, pois em geral não sofrem esforços de flexão (ABNT NBR 9062:2017).

Para se realizar a ligação viga-pilar, é possível empregar diferentes tipos de consolo, em questão de material, método de cálculo e, conseqüentemente, de sua execução (BACHEGA, 2013). No presente trabalho, serão apresentados duas dessas tipologias, abrangendo seu emprego funcionalidade e praticidade, considerados pelo autor.

De acordo com a norma ABNT NBR 6118:2014 – “Projeto de estruturas de concreto - Procedimento”, “São considerados consolos os elementos em balanço nos quais a distância (a) da carga aplicada à face do apoio é menor ou igual à altura útil (d) do consolo”, conforme indicado na figura 6.

Figura 6 - Detalhamento da seção de consolo curto



Fonte: ABNT NBR 6118:2011

ENGENHARIA CIVIL

Nas figuras 7, 8 e 9, é possível notar o emprego dos consolos em situação real, situados em pilares na composição das estruturas em questão.

Figura 7 - Consolo duplo em canteiro



Fonte: ENGEMOLDE

Figura 8 – Consolos implementados para multipavimentos



Fonte: ENGEMOLDE

Figura 9 – Consolo de perfil metálico embutido



Fonte: BACHEGA (2013)

3. CONSOLO METÁLICO EMBUTIDO

Seu estudo de emprego no Brasil surgiu de uma parceria universidade-empresa, com a USICON Construções Pré-Fabricadas, a fim de encontrar alternativas que atendessem todas as normas e padrões de exigência para o emprego do consolo no elemento pré moldado.

De acordo com BACHEGA (2013), seu processo de aplicação teve início em 2009 com a busca de ligações viga-pilar articuladas ou também conhecidas como semirrígidas. Após a seleção de ligações que causariam mais impacto no setor da construção, chegou-se à ligação com Consolo Metálico Embutido (Figura 9 e Figura 10).

Figura 10 – Consolo metálico implementado á estrutura



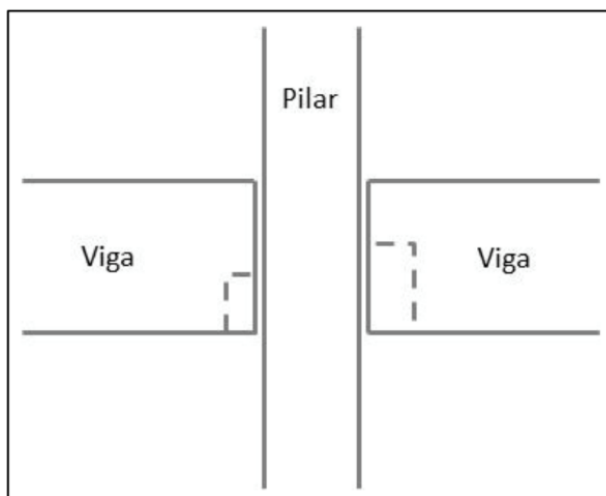
Fonte: ELLIOTT (2007)

3.1 Características Principais

Por não ser aparente, o consolo metálico embutido traz algumas facilidades como a eliminação de detalhes de vedação e a adaptação à seções circulares e diferentes tipologias de vigas.

Os Consolos Metálicos mostrado nas Figuras 9 e 10, são chamados de “billet”, e se caracterizam por um perfil metálico quadrado ou retangular, maciço ou vazado, que é embutido no pilar.

Figura 11 - Esquema da Ligação



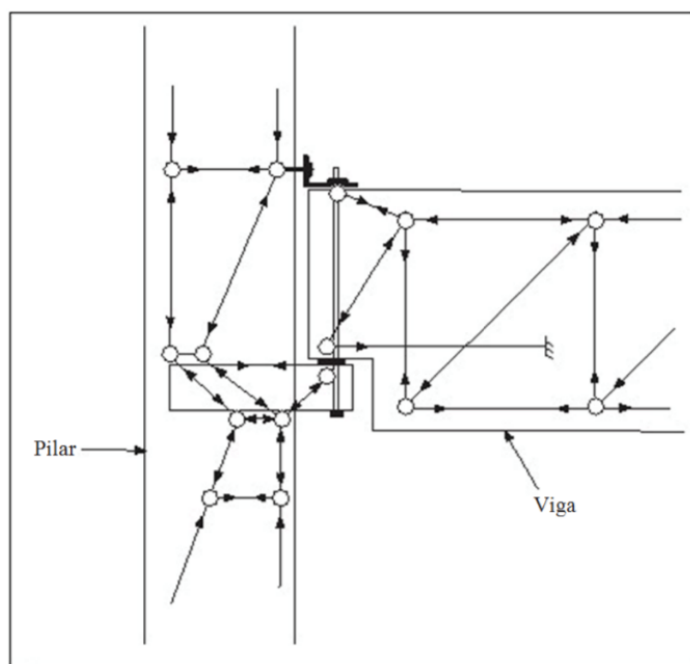
Fonte: BACHEGA (2013)

ENGENHARIA CIVIL

O conector metálico embutido no pilar é representado pelo tracejado na viga, podendo haver variadas formatações e processos de ligação, com a função de transferir os esforços de cisalhamento da viga para o pilar.

A transferência de esforços neste caso possui características semelhantes ao consolo de concreto, sendo atuante em três pontos específicos: X, Y e Z (Figura 13). Os detalhamentos das seções variam de acordo com o tipo do consolo empregado, conforme os conectores, formas e dimensões adotadas. ELLIOTT (2002) definiu um modelo uniforme de funções exercidas por estas partes, da seguinte forma:

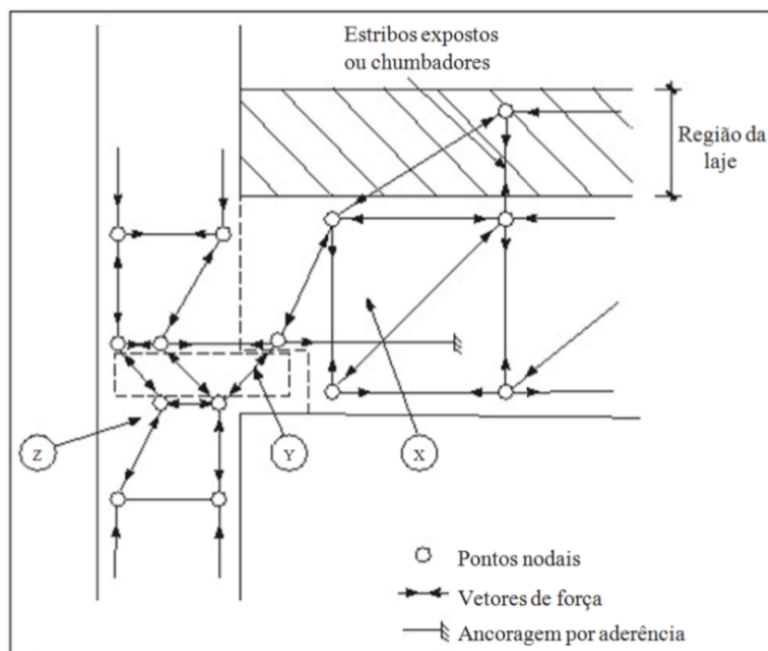
Figura 12- Trajetória das forças em uma ligação viga-pilar durante a montagem.



Fonte: ELLIOTT (2002)

ENGENHARIA CIVIL

Figura 13- Trajetória das forças em uma ligação viga-pilar após a montagem (liga solidarizada).



Fonte: ELLIOTT(2002)

O comportamento esperado é semelhante ao comportamento do modelo biela-tirante em estruturas de concreto (Item 4.3). As forças representadas nas figuras 12 e 13 indicam as regiões X, Y e Z na ligação viga-pilar, comportando-se de maneira que:

- Em X: a força cortante é transferida na extremidade de vigas por uma armação de estribos verticais e/ou barras dobradas ou introdução de uma seção de aço pré-fabricada (Figura 15), denominada “*shear box*” (caixa de cisalhamento);
- Em Y: garante a capacidade ao cisalhamento adequada, no plano da intersecção entre a viga e o pilar, por qualquer seção de aço projetada (sólida ou oca);
- Em Z: transfere os esforços de compressão dentro do concreto do pilar. Estribos concentrados controlam as tensões de ruptura horizontal (a cima e abaixo da ligação). A ancoragem dos pilares é feita geralmente por

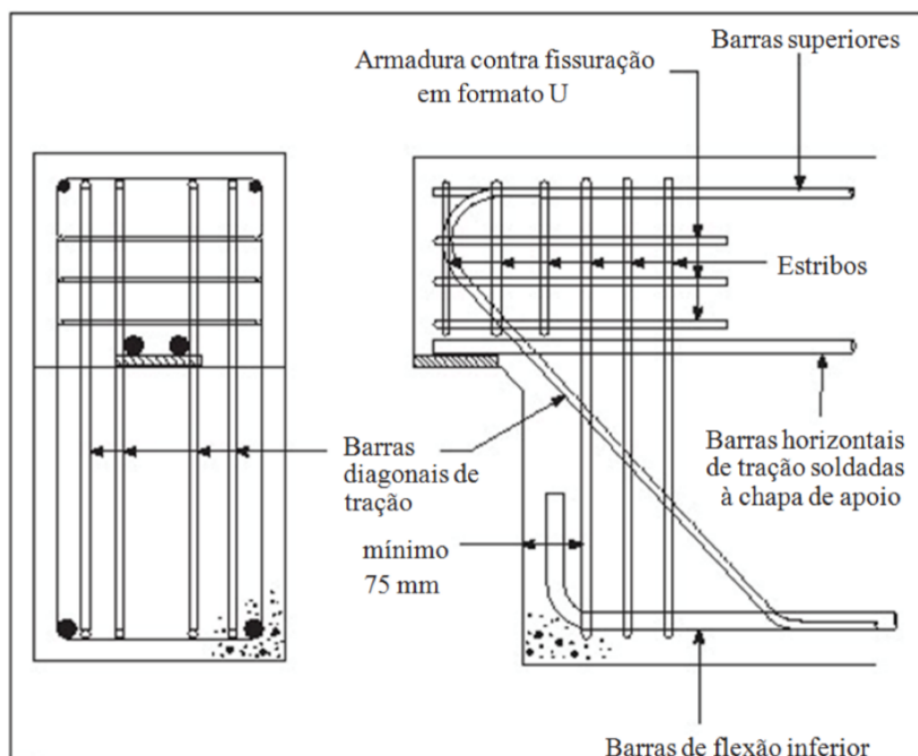
ENGENHARIA CIVIL

ancoragem total em cálices moldados, por caixa metálica ou insertos de seção H.

A armadura diagonal se faz necessária quando a carga total de projeto não é suportada pelo dente de concreto presente na viga. Segundo ELLIOTT (2002), Com a armadura diagonal presente na extremidade da viga executada corretamente, o dente de concreto divide a carga total de projeto com a armadura diagonal, distribuídos em 50% para cada seção.

Em casos que a armadura diagonal não suporta o carregamento solicitado, ou a ruptura do dente de concreto persista na viga, pode-se realizar a introdução de um perfil metálico com a função de armadura de cisalhamento na extremidade da viga, conforme indica a figura 14. Sua ancoragem no concreto da viga é feita através da solda de uma cinta metálica ao concreto (BACHEGA,2013).

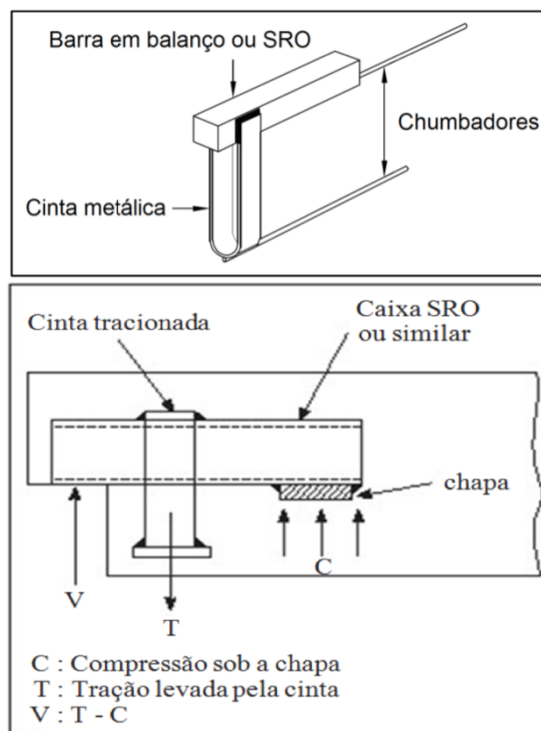
Figura 14 - Armadura da extremidade de viga com estribos e barras dobradas



Fonte: ELLIOTT (2002)

ENGENHARIA CIVIL

Figura 15 - Shear box pré-fabricada (perfil metálico de Seção Retangular Oca).



Fonte: ELLIOTT (2002); PCI (2010)

No dimensionamento da ligação viga-pilar com o billet, são utilizadas as formulações estadunidense PCI (2010), sistema de unidade Imperial, e europeia FIB (2011), sistema de unidade Internacional. Por conta de o Brasil utilizar o Sistema Internacional (SI) de medidas, todos os resultados obtidos das formulações do PCI foram convertidos.

Em Bachega (2013) é defendido que nos dois métodos, presume-se a falha da ligação no concreto do pilar ou no perfil metálico embutido. A força máxima resistente do concreto vale V_{Rdc} . A falha no tarugo pode ocorrer devido a ruptura do perfil ao cisalhamento ou à flexão. O valor da força cortante resistente de cálculo do perfil vale $V_{Rd,cis}$ para cisalhamento e $V_{Rd,fle}$ Para flexão.

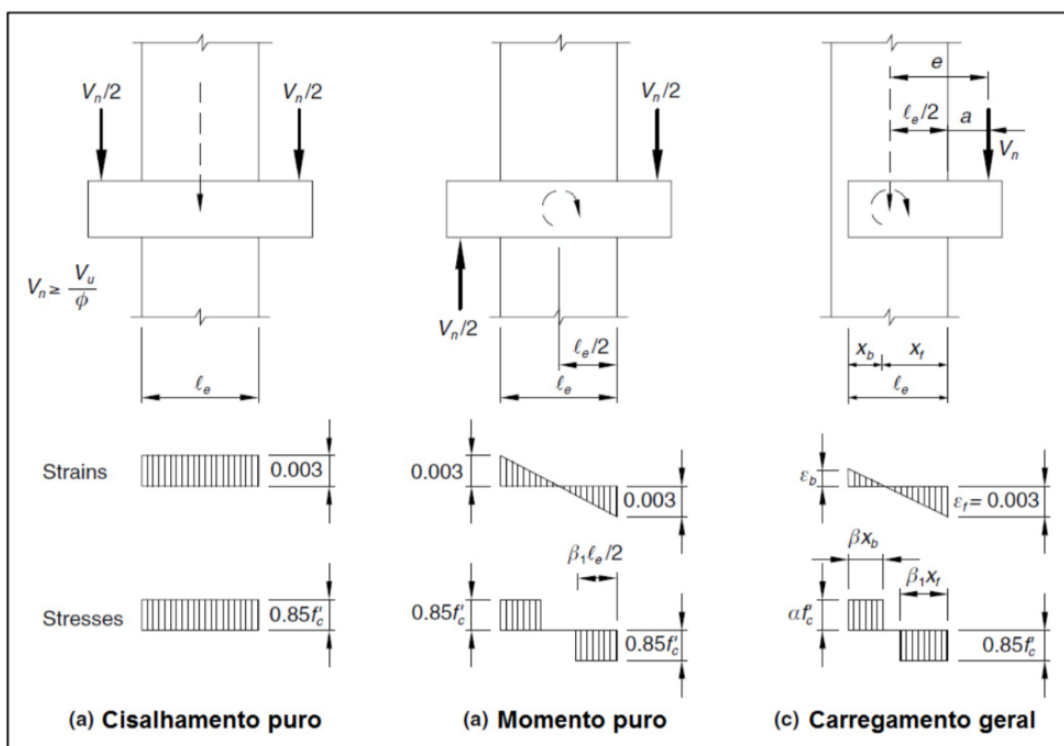
No caso de armadura adicional, é somado V_{Rdc} ao valor da força cortante $V_{Rd,ad}$ proporcionado pelas barras soldadas ao consolo metálico, que resulta na força

cortante resistente de cálculo total $V_{Rdc,total}$ para o concreto do pilar. O menor valor de força cortante resistente de cálculo define a resistência da ligação.

3.2 Método PCI (2010)

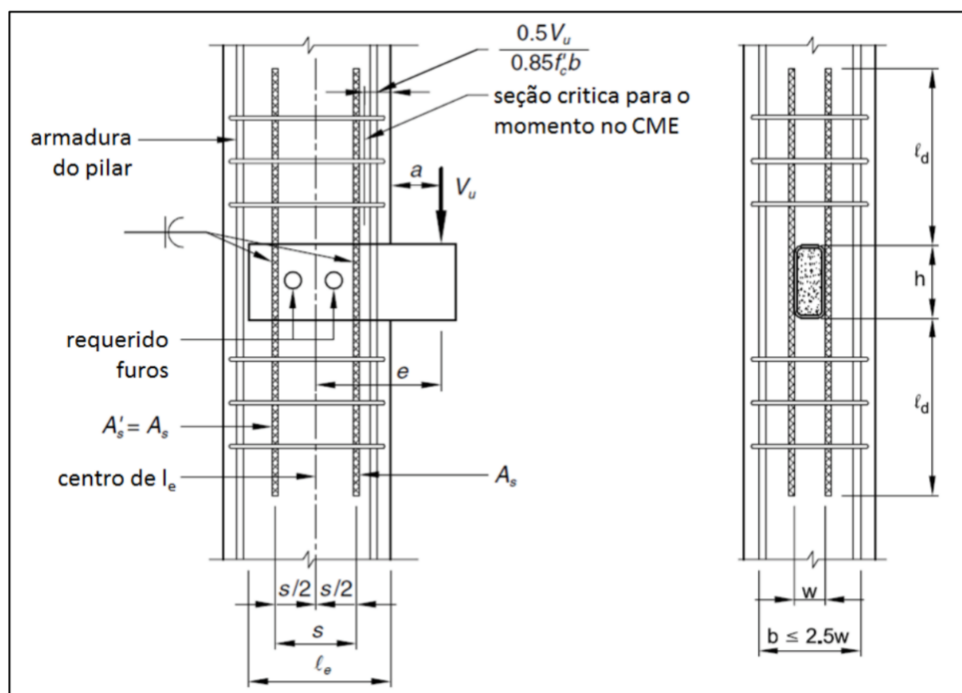
O dimensionamento do consolo metálico pode ser realizados de acordo com o modelo analítico considerado por PCI (2010), em sua 7a edição do manual, possui as características representadas nas figuras 16 e 17.

Figura 16 - Modelo de comportamento do tarugo metálico na estrutura



Fonte: PCI (2010)

Figura 17 - Detalhamento da seção do pilar



Fonte: PCI(2010)

Onde:

$$e = a + L_e / 2.$$

(1)

A força cortante resistente de cálculo para o concreto é representada pela equação (2):

$$V_{Rdc} = \frac{0,85f_{cd}b_{pe}L_E}{(1 + 3,6\frac{e}{L_E})}$$

(2)

Onde:

V_{Rdc} = Força resistida pelo concreto

b_{pe} = largura efetiva do bloco de compressão

f_{cd} = Resistência à compressão de cálculo do concreto

e = distância entre a o ponto de aplicação da força e a face do pilar.

L_e = Comprimento de embutimento

A armadura adicional do perfil (barras soldadas) acrescenta uma força cortante resistente no concreto de:

$$V_{Rd,ad} = \frac{2A_s f_y}{\left[1 + \left(\frac{6e}{L_E}\right) / \left(\left(\frac{4,8s}{L_E}\right) - 1\right)\right]} \quad (3)$$

Onde:

$V_{Rd,ad}$ = força adicional do devida às narras de aço soldadas no consolo metálico

A_s = Área de aço soldada no perfil metáico

F_y = Resistência e cálculo ao escoamento do vergalhão de aço

s =Espaçamento de centro a centro da armadura de reforço do consolo metálico

Desde que as barras estejam ancoradas acima e abaixo do perfil metálico, pode-se duplicar a área da seção transversal A_s para $2A_s$, segundo PCI (2010). Aplicando o coeficiente de segurança ϕ 0,75, tem-se a resistência total do concreto do pilar, e o cálculo da contribuição adicional do reforço de aço soldado no perfil metálico:

$$\phi V_n = 0,75(V_{Rdc} + V_{Rd,ad}) \quad (4)$$

Onde:

ϕV_n = Força aplicada no consolo com seu valor de cálculo minorado

E para o perfil metálico, com $\phi = 0,90$, vale:

$$V_{Rd,cis.} = \phi(0,6F_y)ht \quad V_{Rd,fle.} = \frac{\phi Z_P F_y}{d} \quad (5)$$

Sendo:

$V_{rd,cis}$ = Resistência ao cisalhamento do perfil metálico

F_y = Resistência de cálculo ao escoamento da chapa de aço

h = Altura do consolo metálico

t = Espessura do consolo metálico

$V_{rd,fle}$ = Resistência à flexão com seu valor de cálculo

ϕ = Coeficiente de minoração

Z_p = Módulo de resistência plástica no perfil de aço

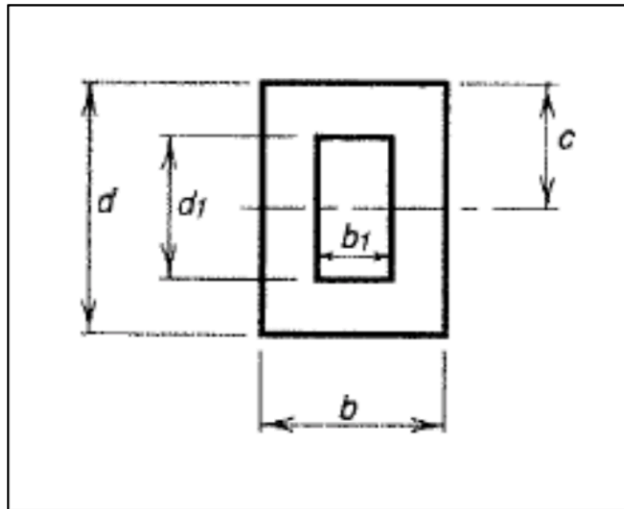
d = Distância do ponto de aplicação até o engaste

Para o módulo de deformação plástica do aço Z_p o PCI (2010) recomenda a seguinte formulação para perfis retangulares vazados (Figura 18):

$$Z_p = (bd^2 - b_1 d_1^2)/4$$

(6)

Figura 18 - Módulo de deformação plástica para perfis retangulares vazados.



Fonte: PCI (2010)

O módulo plástico é dividido pelo fator de forma S_f que considera a relação entre o momento plástico e o momento fletor no início do escoamento:

$$Z_P/S_F$$

(7)

onde:

$$S_f = (3d/2) \left[\frac{bd^2 - b_1 d_1^2}{bd^2 - b_1 d_1^3} \right]$$

(8)

3.3 Método FIB (2011)

O modelo analítico considerado pela FIB (2011) possui as características representadas na Figura 19.

ENGENHARIA CIVIL

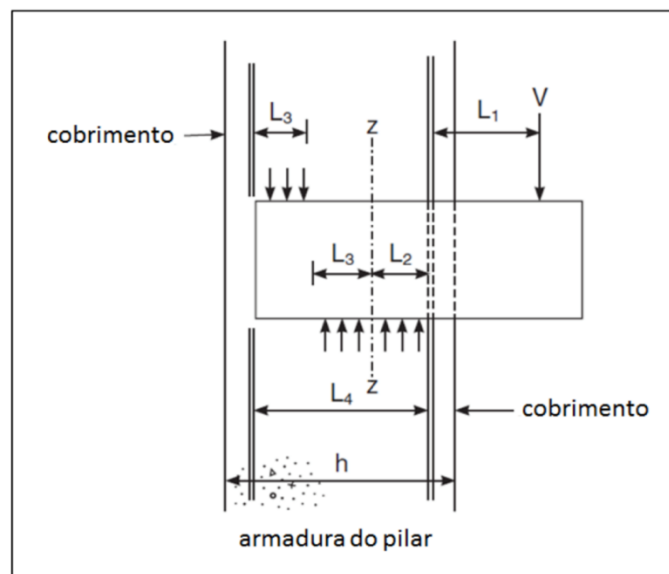
A força cortante resistente de cálculo para o concreto vale:

$$V_{Rdc} = 0,85 v f_{cd} b_p x$$

(9)

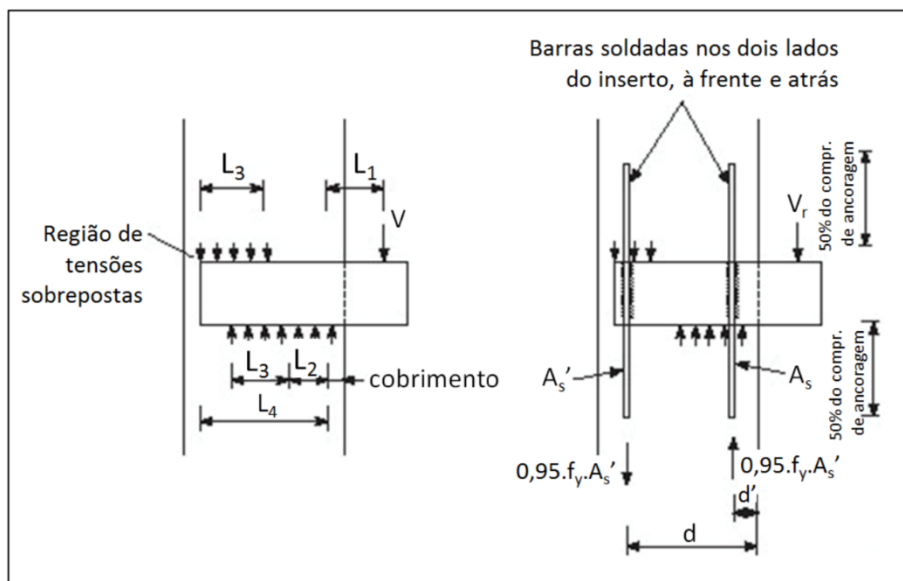
Onde: $v = 1 - \left(\frac{f_{ck,graute}}{250}\right)$

Figura 19- Modelo de funcionamento do tarugo metálico no concreto



Fonte: BACHEGA (2013)

Figura 20 - Armadura adicional quando há sobreposição de tensões no concreto



Fonte: BACHEGA (2013)

Para o concreto logo abaixo do perfil utiliza-se $x = L_2 + L_3$ e para o concreto logo acima $x = L_3$. Para o perfil metálico vale:

$$V_{Rd,cis} = 0,6 F_y h t \quad (10)$$

e,

$$V_{Rd,fle} = (S_{xx} F_y) / (L_1 + 0,5L_2) \quad (11)$$

onde:

$$L_1 = a + \text{cobrimento}$$

$$L_2 \rightarrow 0,25L_2^2 + (0,5L_4 + L_1)L_2 - 0,2475 L_4^2 = 0 \quad (12)$$

$$L_4 = H_2 - 2\text{cobrimento}$$

ENGENHARIA CIVIL

L_2 é aceito quando $L_2 < L_{2,tarugo}$. Encontra-se o valor de $L_{2,tarugo}$ equilibrando o momento resistente M_R do perfil metálico com o momento atuante M_{ZZ} .

$$M_R = (S_{xx} F_y) \quad (13)$$

$$M_{ZZ} = 0,8 f_{ck} b_p L_2 (L_1 + 0,5 L_2) \quad (14)$$

Para encontrar o valor de L_3 assumido no modelo teórico utiliza-se a “regra dos 90%” o qual evita a sobreposição de tensões abaixo do tarugo.

$$L_2 + 2L_3 \leq 0,90 L_4 \quad (15)$$

O módulo plástico do aço S_{xx} foi calculado do mesmo modo que Z_p .

Para a contribuição da força cortante resistente de cálculo da armadura adicional no concreto do pilar, tem-se:

$$V_{Rd,ad.} = [2A_s 0,95 f_y (d - d')] / (d + L_1 - \text{cobr.}) \quad (16)$$

Onde:

$d - d'$ = distância entre as barras que compõem a armadura adicional. O uso da armadura adicional também é recomendado quando o cobrimento da cabeça do pilar for menor que 150 mm.

4. CONSOLO DE CONCRETO PRÉ-FABRICADO

4.1 COMPOSIÇÃO ESTRUTURAL

Na composição de um consolo pré-fabricado, os elementos de sua armadura são quantificados e dispostos conforme o gráfico da trajetória de esforços principais, que apontam a dispensa de armadura na parte inferior do consolo, por conta da ausência dos esforços axiais.

De acordo com El Debs (2000), recomenda-se o emprego de um modelo de treliça simples, na qual é composta por:

Tirante: Barras dispostas horizontalmente que absorve os esforços de tração

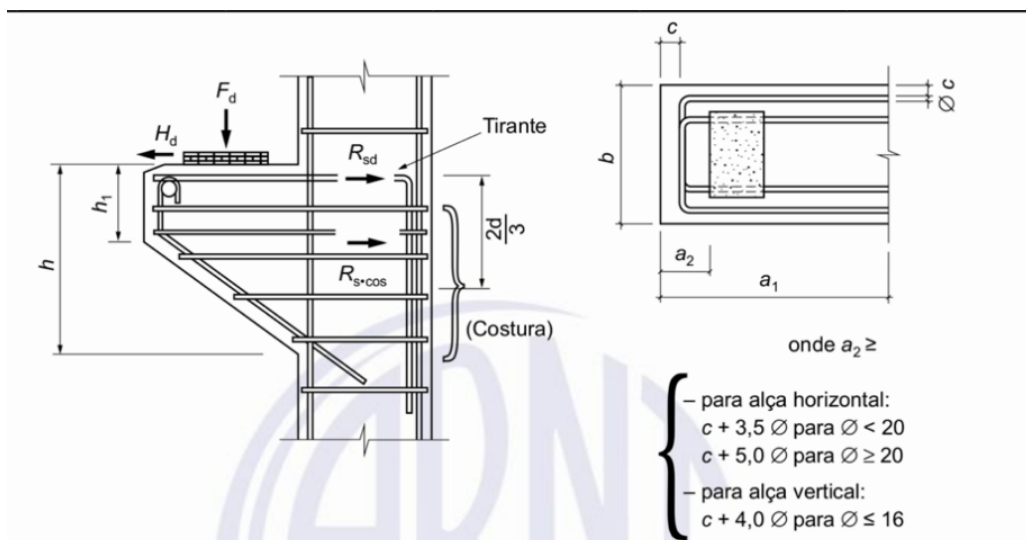
Estribos: Barras tracionadas que reforçam o sistema estrutural da peça e compõe a armadura

Armadura de costura: Tem função de conter as fissuras ao longo das faces laterais do consolo, sendo assim disposta ao longo de sua altura restante.

Biela: representada por uma barra transversal comprimida com função de conter os esforços axiais, ou seja, esforços precisamente de tração e compressão. Apresenta função de tirante, quando sujeita aos esforços de tração, e funciona como escora, quando sujeita aos esforços de compressão.

Sendo assim, esses são os elementos básicos componentes na armadura de um consolo, podendo haver variações conforme a tipologia, mas sem exceder as recomendações estabelecidas pelas normas que tratam de estruturas pré-fabricadas e dimensionamento dos consolos, conforme pode ser visto na figura 21, segundo a norma ABNT NBR 9062:2017.

Figura 21 - Armadura típica de um consolo curto



Fonte: ABNT NBR 9062:2017

Leonhardt e Mönning (1978) defendem que estribos verticais tem a função de enrijecer a armadura, não possuindo função de transmissão de forças à armadura. Já os estribos horizontais distribuídos ao longo da altura aumentam a capacidade de resistência das bielas de compressão, quando tem-se $a/h \approx 0,7$ a $0,5$ e quando a disposição dos estribos com pequenos espaçamentos. Portanto, os estribos horizontais combatem a fissuração na biela.

Nos estudos realizados foi possível encontrar diferentes tipos de elementos na composição da estrutura, bem como métodos adaptados para dimensionamento e execução. Na dissertação de E.M Oliveira (2012), foi realizado um trabalho que propõe a retirada dos estribos e a introdução de fibras metálicas ao concreto, mantendo apenas as barras do tirante principal, à fim de aumentar a resistência ao fendilhamento da biela de concreto.

Ainda de acordo com E.M Oliveira (2012), essa alternativa de moldagem dos consolos acabou por desenvolver uma técnica de produção em etapa anterior à do pilar, com a armadura e superfície dos consolos preparados para receber a ligação com o pilar durante sua montagem.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CONSOLOS

Conforme a ABNT NBR 6118:2014, o consolo é curto se $0,5d \leq a \leq d$, e seu dimensionamento se dá através do método biela-tirante. Considerando que:

a = distância da carga aplicada à face do pilar, e **d** = altura útil do consolo (Figura 6).

Se $a < 0,5d$, o consolo é considerado muito curto e seu dimensionamento se dá pelo cálculo modelo de atrito-cisalhamento.

No caso de $a > d$, trata-se como viga em balanço e não mais como consolo.

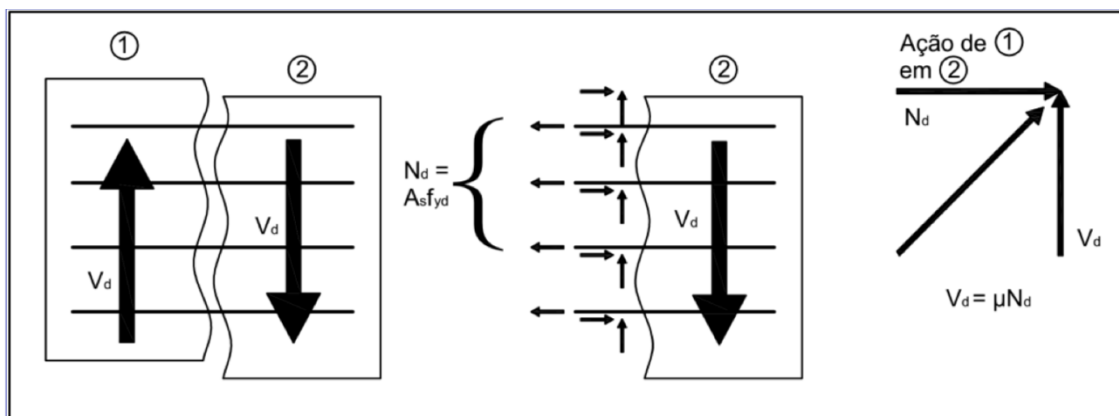
Os métodos de cálculo serão detalhados no item 5 deste trabalho, que trata do dimensionamento dos consolos.

4.2.1 Consolos muito curtos (Modelo Atrito – Cisalhamento)

Segundo Machado (1999), ensaios mostram que as fissuras nesta tipologia de consolo ocorrem ao longo de sua seção de engastamento, por ter em suas características, a relação $a/d \leq 0,5$.

É adotado o conceito de que o concreto que sofre esforços de tensões de cisalhamento desenvolve fissuras ao longo do plano em que se concentram as tensões. Para solucionar tal consequência, é posicionada uma armadura que cruza essa superfície de fissuração, responsável pela absorção de esforços de tração por conta do deslocamento horizontal na interface consolo-pilar. (MACHADO, 1999)

Figura 22 - Modelo de Atrito Cisalhamento



Fonte: Machado, 1999

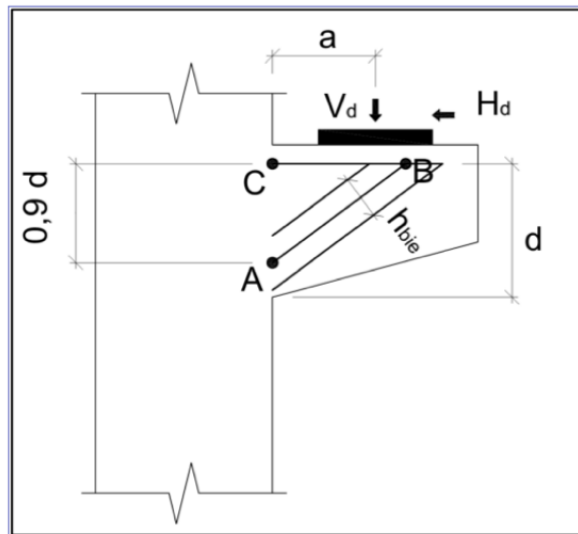
4.2.2 Consolos curtos (Biela-Tirante)

Consolos curtos têm como principal característica, a relação $0,5d \leq a \leq d$, e diferentemente dos consolos muito curtos, sofre esmagamento de sua parte inferior, por consequência, ocorrendo fissuração em diagonal partindo do ponto quem que é recebido o esforço até a junção com o canto do pilar.

Para o dimensionamento de consolos, por conta da significativa tensão de cisalhamento, deve-se considerar que as seções planas não conservam suas propriedades mesmo após os esforços de flexão. Por conta de tal característica, é aplicado para seu dimensionamento o modelo biela-tirante, de acordo com a NBR 6118 (ABNT 2014).

Segundo El Debs (2000), o modelo consiste em projetar a armadura de forma que seus elementos sejam responsáveis por absorções de esforços distintos e em regiões distintas do consolo. Os elementos da armadura são conectados em nós, compondo uma formação de estrutura caracterizada como treliça.

Figura 23 - Modelo de Consolo curto (Biela-Tirante)



Fonte: El Debs (2000)

O equilíbrio dos nós é obtido através dos cálculos das forças resultantes, sendo assim, dimensiona-se a armadura do tirante bem como a análise do consolo quanto à resistência à compressão do concreto (EL DEBS, 2000).

Como já indicado neste item, os esforços de compressão sofridos são absorvidos pelo concreto representado pela biela. Por sua vez, o consolo resiste aos esforços de tração a partir da armadura do tirante.

5. DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento dos consolos feito de forma correta é fator determinante para execução de um consolo desde o dimensionamento de sua armadura até a concretagem.

Para tal execução, seguem-se padrões que foram desenvolvidos previamente, através de estudos como o PCI (2004), modelos internacionais como o EUROCODE 2, e hoje normatizados na ABNT NBR 9026:2017, que englobam a segurança e os requisitos mínimos para o dimensionamento de consolos curtos.

Deve-se lembrar que para a execução dos consolos curtos é adotado o método de cálculo chamado biela tirante, conforme explicado no item 2.4. Para estudar as

recomendações e roteiros de cálculo a serem implementados, serão revistos modelos já estudados, bem como será dada ênfase ao modelo proposto pela NBR 9026:2017.

5.1 DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A NBR 9026:2017

O modelo sugerido pela norma brasileira NBR 9026 é baseado na teoria atrito-cisalhamento para consolos muito curtos e na teoria de bielas e tirantes para consolos curtos, como visto no item 2.2.

Para o método de dimensionamento, os critérios adotados para caracterização de uma estrutura pré-fabricada, são referenciados pelas normas ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 8681, onde o coeficiente de majoração se dá por um fator γ_n , sendo que:

$\gamma_n = 1,0$, quando a carga permanente for preponderante; $\gamma_n = 1,1$, em caso contrário.

Baseado nesses critérios, a norma ainda estabelece parâmetros primordiais para o método de cálculo, citados à seguir e extraídos da ABNT NBR 9026.

- a) Os efeitos de impactos, choques e vibrações são levados em consideração na determinação do valor de γ_n , não se adotando valores inferiores aos estabelecidos anteriormente nos coeficientes de majoração.
- b) É necessária a análise do efeito desfavorável na resistência do consolo, devido à variação das ações sem inversão dos esforços, considerando-se a análise dinâmica e fadiga conforme a ABNT NBR 6118. É obrigatória a análise em consolos para vigas de rolamento de pontes rolantes.
- c) As ações devidas à variação volumétrica das estruturas ligadas ao consolo devem ser obrigatoriamente levadas em consideração.

ENGENHARIA CIVIL

- d) Devem ser adicionadas ao cálculo dos consolos as ações horizontais atuantes, ou as componentes horizontais de forças provenientes de consolos inclinados.
- e) Devem ser levadas em conta, na determinação das ações horizontais, a elasticidade dos demais elementos em contato com o consolo e a existência ou não de pinos de ligação ou elementos intermediários (chapas metálicas, aparelhos de apoio elastoméricos, argamassa e outros).
- f) Na falta de um cálculo rigoroso, permite-se adotar para as ações horizontais uma fração das ações verticais, conforme indicado no item 7.3.9. da norma, que trata da transmissão de esforços horizontais, onde:

Deve ser levado em conta o efeito da torção no modelo biela tirante espacial, fora do plano médio do consolo, obedecendo aos valores últimos das tensões de cálculo da ABNT NBR 6118:2014, particularmente nos consolos destinados a receber:

Na ausência de impedimento ao movimento horizontal, permite-se estimar a força horizontal H_d pela vertical F_d como a seguir:

- a) $H_d = 0,8 F_d$ para juntas a seco;
- b) $H_d = 0,5 F_d$ para elemento assentado com argamassa;
- c) $H_d = 0,16 F_d$ para aparelhos de apoio de elastômero;
- d) $H_d = 0,08 F_d$ para aparelhos de apoio revestidos de plástico politetrafluoretileno (PTFE);
- e) $H_d = 0,25 F_d$ para apoios realizados entre chapas metálicas não soldadas;
- f) $H_d = 0,4 F_d$ para apoios realizados entre concreto e chapas metálicas;
- g) para a concretagem no local, ligação por meio de solda ou apoio com graute, é obrigatório o estudo detalhado do valor da força horizontal aplicada na ligação;

ENGENHARIA CIVIL

h) podem ser utilizados valores diferentes dos apresentados, desde que justificados por modelo de cálculo.

g) Deve ser levado em conta o efeito da torção no modelo biela tirante espacial, fora do plano médio do consolo, obedecendo aos valores últimos das tensões de cálculo da ABNT NBR 6118:2014, particularmente nos consolos destinados a receber:

- a) carregamentos devidos a futuras ampliações;
- b) cargas móveis transmitidas através de vigas de rolamento;
- c) vigas com torção.

5.1.1 Hipótese de cálculo

Conforme visto no item 4, os consolos possuem diferentes características conforme sua modelagem, e para cada uma, é adotado um método de cálculo que atenderá de forma correta os esforços solicitantes para a execução da armadura e concretagem. Segundo a ABNT NBR 6118:2014, as hipóteses se fazem da seguinte forma:

- a) Para consolos com $1,0 < a/d < 2,0$: o dimensionamento deve ser feito como uma viga em balanço;
- b) Para consolos com $0,5 < a/d < 1,0$ (consolos curtos): o dimensionamento se faz segundo o modelo matemático de uma treliça de duas barras, uma tracionada (tirante) e outra comprimida (biela);
- c) Para consolos com $a/d < 0,5$ (consolos muito curtos): o dimensionamento se faz supondo a ruptura ao longo da interface entre o consolo e o pilar, podendo-se considerar o efeito favorável do engrenamento dos agregados desde que a interface seja atravessada por barras de aço perpendiculares a essa interface.

5.1.2 Verificação da biela comprimida

ENGENHARIA CIVIL

A norma ABNT NBR 9062:2017 determina que em consolos curtos com $0,5 < a/d \leq 1,0$, a tensão de compressão na biela inclinada não pode ultrapassar:

f_{cd} para carga direta e $0,85 f_{cd}$ para carga indireta.

Já para os consolos muito curtos com $a/d \leq 0,5$, para as condições de compressão diagonal em função da tensão de cisalhamento τ_{wd} , adota-se:

$$\tau_{wu} = 3,0 + 0,9 \cdot \rho \cdot f_{yd} \leq 0,27 (1 - f_{ck} / 250) f_{cd}$$

(17)e $\tau_{wu} \leq 8 \text{ MPa}$, sendo $f_{yd} \leq 435 \text{ MPa}$.

Onde:

f_{yd} = tensão de escoamento do aço

$\rho = A_{s, \text{tir}} / b \cdot d$,

$A_{s, \text{tir}}$ = área total de aço concentrada no tirante

b = comprimento do aparelho de apoio

a = distância da carga aplicada à face do pilar

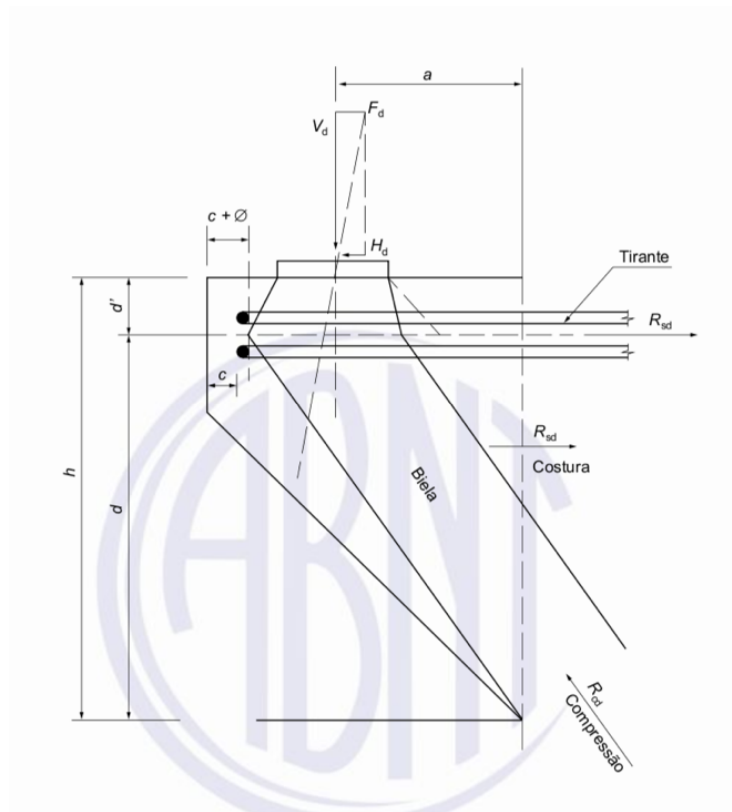
d = altura útil do consolo

f_{ck} = resistência à compressão do concreto

f_{cd} = valor mínimo de resistência a compressão

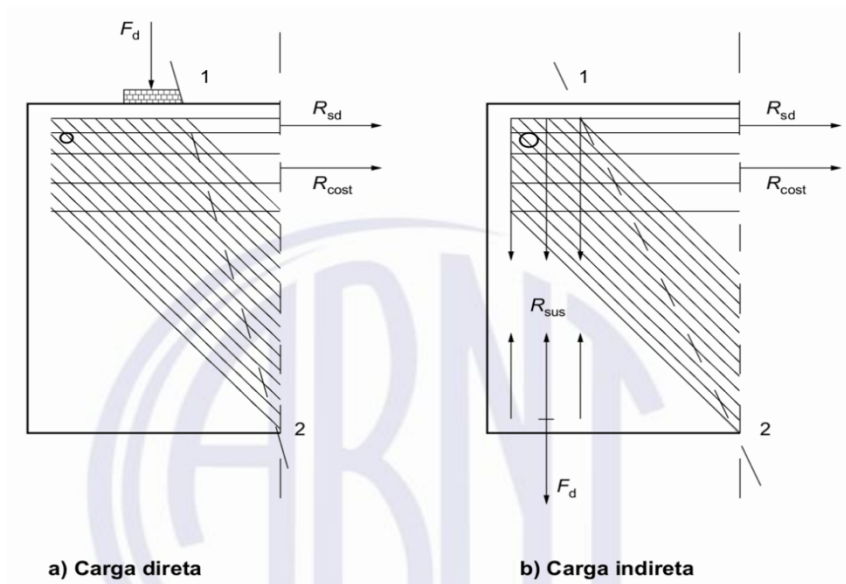
Nas figuras 24 e 25, é possível observar um modelo de consolo e seus componentes estruturais, bem como a indicação dos esforços em sua estrutura, como citado anteriormente para a verificação da biela.

Figura 24 - Modelo de consolo curto



Fonte: ABNT NBR 9062:2017

Figura 25 - Detalhe sobre armadura de suspensão



Fonte: ABNT NBR 9062:2017

5.1.3 Tirante

Em relação ao tirante, a norma define que o tirante não pode ter diminuição de seção transversal entre o ponto de aplicação da carga e o engastamento. No caso de a/d maior que 2, o cálculo do consolo é feito de acordo com a recomendação disposta na ABNT NBR 6118:2014 para vigas.

Na seção de engastamento, a taxa mecânica de cálculo $\omega = \rho \times f_{yk}/f_{ck}$ deve ser superior a 0,04 para os consolos com $a/d \leq 2$, onde:

$$\rho = A_{s, \text{tir}}/b \cdot d \quad (18)$$

Onde:

$A_{s, \text{tir}}$ = área total de aço concentrada no tirante.

b = largura do consolo

d = altura útil do consolo

Para os consolos curtos, com $0,5 < a/d \leq 1,0$, admite-se para a armadura total do tirante:

$$A_{s, \text{tir}} = A_{sv} + H_d / f_{yd} \quad (19)$$

onde $A_{sv} = (0,1 + a/d)F_d / f_{yd}$

A norma ainda frisa que a equação deve ser melhorada por aproximações sucessivas ao ser verificado o modelo adotado nas hipóteses de cálculo e caracterização dos consolos, conforme visto no item 4.1.2 deste trabalho.

Para consolos muito curtos, com $a/d \leq 0,5$, admite-se que a armadura total do tirante seja a seguinte:

ENGENHARIA CIVIL

$$A_{s,tir} = A_{sv} + H_d / f_{yd} \quad (19)$$

$$A_{sv} = 0,8 \cdot F_d / (f_{yd} \cdot \mu) \quad (20)$$

onde μ é igual a 1,4 para concreto lançado monoliticamente;

μ é igual a 1,0 para concreto lançado sobre concreto endurecido com interface que satisfaça o disposto na tabela de valores dos coeficientes β_s e β_c , onde:

Tabela 1 - Valores dos coeficientes β_s e β_c

A_s/bs %	β_s	β_c
$\leq 0,2$	0	0,3
$\geq 0,5$	0,9	0,6

Fonte: NBR 9026 Item 6.3.4

A norma ainda define que μ é igual a 0,6 para concreto lançado sobre concreto endurecido com interface lisa, e que a ancoragem do tirante no elemento-suporte do consolo deve obedecer as especificações da ABNT NBR 6118:2014.

5.1.4 Armadura de Costura

A armadura de costura é obrigatória e considerada adequada quando:

- a) para consolos curtos, com $0,5 < a/d \leq 1,0$, adota-se o seguinte valor de armadura, distribuída em $2/3 d$, adjacentes ao tirante:

$$(A_s/s)_{cost} \geq 0,4(A_{sv}/d);$$

- b) para consolos muito curtos, com $a/d \leq 0,5$, adota-se o seguinte valor de armadura, distribuída em $2/3 d$, adjacentes ao tirante, completando-se o terço restante com armadura mínima:

$$(A_s/s)_{cost} \geq 0,5(A_{sv}/d);$$

devem ser respeitadas as disposições construtivas previstas em 7.3.3; não adotar $f_{yd} > 435$ MPa;

$$A_{scostmín} = 0,15 \cdot b \text{ cm}^2 \text{ m.}$$

5.1.5 Armadura Transversal

Nos consolos com $a/d > 1,0$, calcula-se a armadura transversal pela ABNT NBR 6118, fazendo $V_{CO} = 0$.

Nos consolos sujeitos a cargas diretas com $a/d \leq 1,0$, faz-se necessário a construção dos estribos verticais escolhidos pelas taxas mínimas de $0,15 \% b_W \cdot h$, sendo b_W a largura do consolo e h a altura igual à do consolo na seção de engastamento.

5.1.6 Armadura de Suspensão

Deve existir armadura de suspensão capaz de resistir à totalidade das cargas ou reações indiretas de cálculo com tensão f_{yd} , não se adotando $f_{yd} > 435$ MPa.

5.2 CONDICIONANTES SEGUNDO A NBR 6118:2014

5.2.1 Comportamento estrutural

A norma NBR 6114:2014 defende o equilíbrio global da estrutura consolo/pilar conforme o modelo biela-tirante. A biela é situada desde o ponto de recebimento da carga até a face do pilar, de forma inclinada, utilizando toda altura disponível do consolo. O tirante, situado no topo da seção do consolo, é ancorado na biela sob a carga vertical F_d no lado da sua extremidade, e no pilar no outro lado.

A Norma ainda defende os aspectos fundamentais para o comportamento correto do consolo:

- a) *ancoragem adequada do tirante, abraçando a biela logo abaixo do aparelho de apoio;*

ENGENHARIA CIVIL

b) a taxa de armadura do tirante a ser considerada no cálculo deve ser limitada superiormente, de modo a garantir o escoamento, antes da ruptura do concreto;

c) verificação da resistência à compressão da biela ou do cisalhamento equivalente na face do pilar, garantindo, com segurança adequada, que a ruptura frágil, pela biela, esteja afastada. Para a verificação da biela, pode ser considerada a abertura de carga sob a placa de apoio, conforme indicado na Figura 22.4, limitada a uma inclinação máxima de 1:2 em relação à vertical, nos pontos extremos A e C (ou E) da área de apoio ampliada;

d) é fundamental a consideração de forças horizontais no dimensionamento dos consolos e o seu consequente efeito desfavorável na inclinação da resultante F_d (ver Figura 22.4). A ABNT NBR 9062 estabelece valores mínimos desses esforços;

e) no caso geral em que existam forças horizontais, transversais ou excentricidade da carga vertical na largura do consolo, diz-se que existe “torção” do consolo; o comportamento estrutural que se observa, nesse caso, é o de um modelo biela-tirante fora do plano médio do consolo, usualmente com biela e tirante mais estreitos, ou seja, não se forma a treliça espacial observada na torção de vigas, uma vez que falta comprimento suficiente para tal.

Apesar de um comportamento parecido, devem ser levadas em consideração as diferenças entre o consolo muito curto e o consolo curto. A biela se encurva ou arqueia no plano do consolo, fazendo-se necessária a armadura de costura (estribos horizontais), tendo participação importante na resistência do consolo e não apenas na ductilidade. (ABNT NBR 6118:2014)

5.2.2 Modelo de cálculo

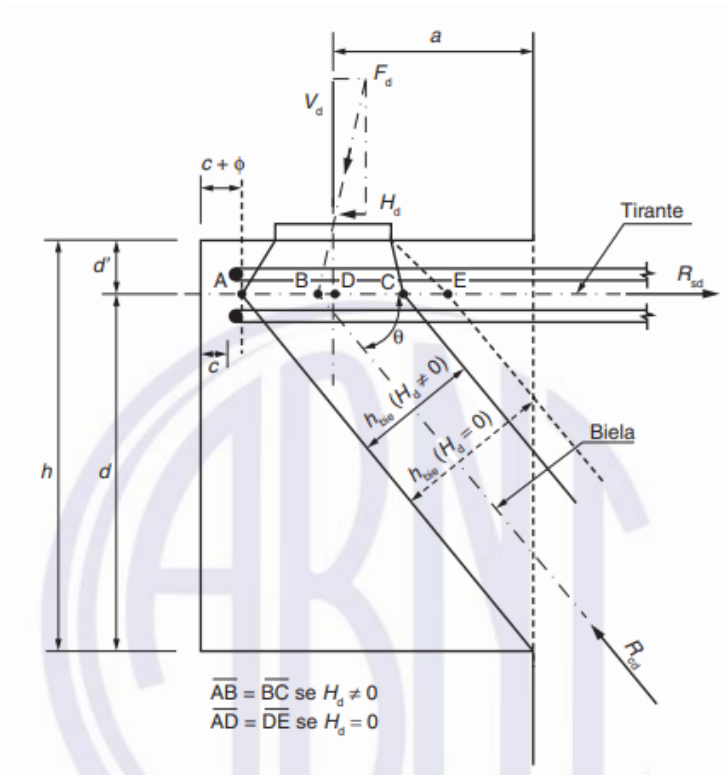
Para cálculo e dimensionamento dos consolos, podem ser usados modelos planos lineares ou não (não planos no caso da torção). Respeitando os campos de aplicação, os modelos de bielas e tirantes são se aplicam normalmente consolos curtos, enquanto os modelos atrito-cisalhamento se aplicam aos consolos muito curtos. A norma NBR 6118:2014 frisa que independente do modelo adotado, ele deve contemplar os aspectos fundamentais descritos no item da própria norma em que define os aspectos estruturais, possuir apoio experimental ou ser derivado de modelo básico já amplamente comprovado por ensaios.

5.2.3 Armadura do tirante

A ancoragem da armadura prevista para o tirante nas duas extremidades do consolo se faz muito importante, por conta do mesmo ser curto. A norma define a condição de não haver gancho no plano vertical, para não haver ruínas por ruptura de canto ou do comprimento lateral do gancho. Os ganchos verticais são aceitos somente em consolos contínuos, sendo a largura b do consolo superior a quatro vezes o comprimento $(a + a_0)$ e na presença de pequenas cargas horizontais e verticais. (Figura 26)

ENGENHARIA CIVIL

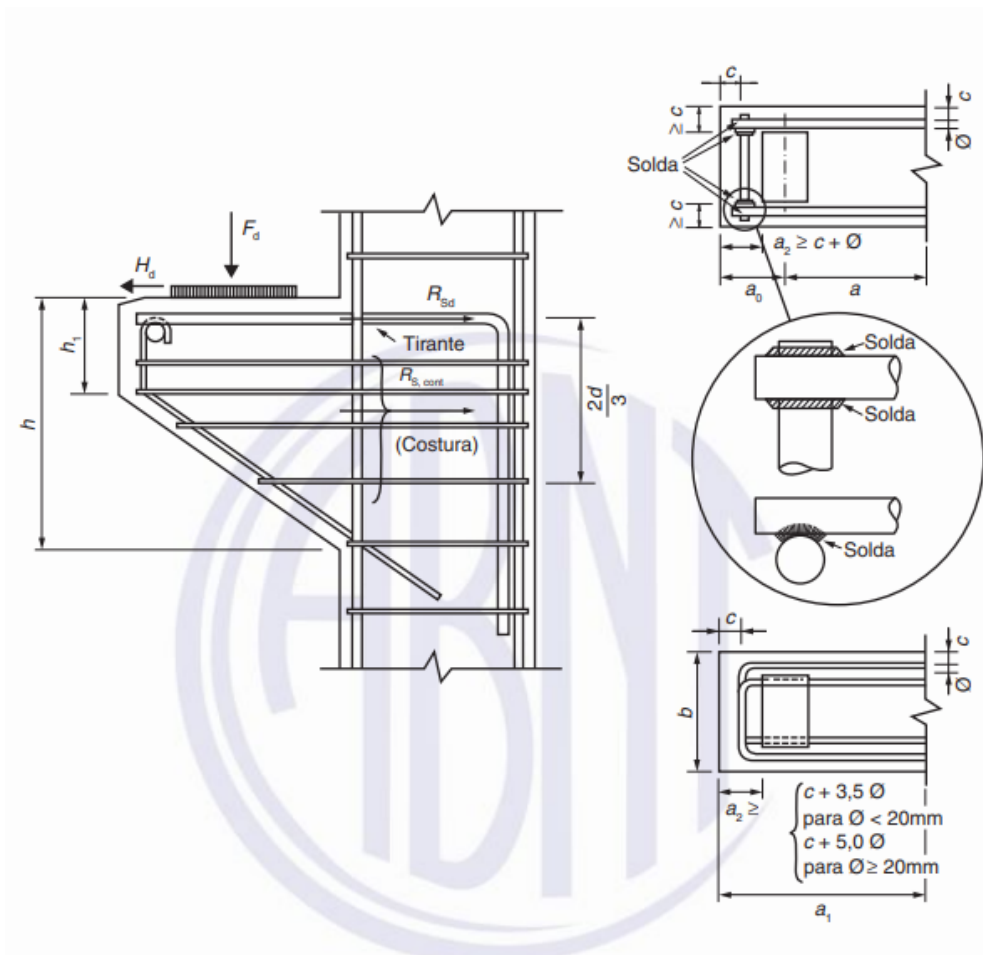
Figura 26 – Modelo biela-tirante para consolo curto



Fonte: ABNT NBR 6118:2014

Nessa região, sob carga concentrada, deve ser usada uma ancoragem mais eficiente, como alças no plano horizontal ou barras transversais soldadas à armadura do tirante, ou chapas metálicas soldadas nas extremidades das barras dessa armadura (tirante) (Figura 15). A armadura mínima do tirante deve ser avaliada considerando-se o mesmo critério adotado no item 17.3.5.2 da referida norma, em que se trata de valores-limites para armaduras longitudinais de vigas, para uma viga com base e altura respectivamente iguais a b e h (Figura 27).

Figura 27 - Armadura típica de um consolo curto



Fonte: ABNT 6618:2014

5.2.4 Aparelho de apoio

A posição e as dimensões do aparelho de apoio devem ser adotadas de forma a permitir que o tirante abrace a biela, conforme sugere o detalhe indicativo na figura 16, levando em conta o efeito desfavorável da resultante inclinada das cargas sobre a placa de apoio, devida às forças horizontais.

5.2.5 Armadura de costura

Tratando-se de consolos curtos ou muito curtos, não é permitido o projeto de sem armadura de costura. A norma NBR 6118:2014 defende que a armadura de costura é fundamental para permitir uma ruptura mais dúctil do consolo, além de evitar redução da carga de ruptura. Para consolos curtos, a armadura de costura mínima deve ter um volume de 40% da armadura do tirante, distribuída em estribos horizontais equivalentes a $2/3d$.

5.2.6 Armadura de suspensão

Quando existir carga indireta, deve-se prever armadura de suspensão para a totalidade da carga aplicada (ABNT NBR 6118:2014).

5.3 DIMENSIONAMENTO SEGUNDO PCI (2010)

PCI é a exigência da verificação dos nós da treliça. Sendo assim, tem-se a distância, o modelo de biela e tirante representado pela treliça mostrada na w_s que define a geometria da treliça, definida pela seguinte equação:

$$w_s = \frac{V_d}{0,85\gamma\beta_n b f_{cd}}$$

(21)

Onde:

V_d = Força de ruína do consolo

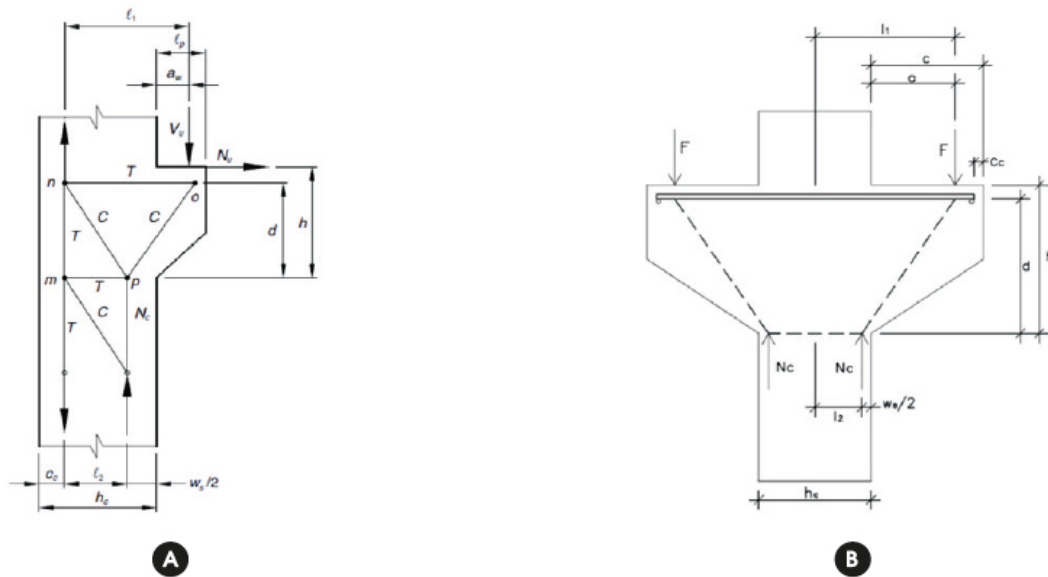
γ = Coeficiente de segurança do PCI

β_n = Coeficiente recomendado pelo PCI (2010), que vale: 1,0 para nós que recebem apenas forças de compressão; 0,8 para nós onde chega um tirante; 0,6 para nós com mais de um tirante

$b =$ largura do consolo

f_{cd} = Resistência à compressão do concreto, valor de cálculo

Figura 28- Representação dos nós em consolo simples e consolo duplo



Fonte: PCI (2004)

Em caso de consolos duplos, a modelagem pode sofrer alterações, conforme indicado na figura 28.

Nota-se que o modelo proposto pelo método PCI sugere uma treliça com uma composição maior de elementos, como a aparição de duas bielas comprimidas, representadas por nP e oP. Além dos tirantes, neste caso representados pelas armaduras do consolo e pilar (MN e NO). No caso do consolo duplo, tem-se uma biela comprimida de cada lado do pilar.

A partir dessa equação, determina-se a força de ruína do consolo (V_d) dada pelo escoamento do tirante (conhecidas as dimensões do consolo), a tensão de escoamento do aço, a resistência à compressão do concreto e a área de aço do tirante, representada pela equação à seguir:

$$V_d = \frac{\sqrt{(1,7\gamma\beta_n b f_{cd} a)^2 + 6,8A_s f_y d \gamma^2 \beta_n b f_{cd} - 1,7\gamma\beta_n b f_{cd} a}}{2} \quad (22)$$

Onde:

a = distância entre o ponto de aplicação e a face do pilar

A_s = Área de aço

F_y = Tensão de escoamento do aço, valor de cálculo

d = Altura de cálculo do consolo, desconsiderando o cobrimento

Em caso de esmagamento da biela comprimida segundo o modelo do PCI, chega-se à seguinte equação:

$$V_d = 0,85\gamma\beta_n b f_{cd} \frac{\left[(h_c - c_c) - \sqrt{(h_c - c_c)^2 - \frac{2V_d(a + h_c - c_c)}{0,85\gamma\beta_n b f_{cd} b}} \right]}{d^2 + \left[a + \sqrt{(h_c - c_c)^2 - \frac{2V_d(a + h_c - c_c)}{0,85\gamma\beta_n b f_{cd} b}} \right]} \quad (23)$$

Onde:

h_c = comprimento do pilar

C_c = cobrimento de concreto na ponta do tirante

Esta é a fórmula que representa a equação da biela OP da figura 3. Nesse caso, admite-se que o nó formado no ponto P como um triângulo retângulo, como

admitido pelo método. Para a ocasião do nó livre, sem a representação pelo triângulo retângulo, tem se a equação 24:

$$V_d = \frac{0,425\gamma\beta_n b f_{cd}}{(a + h_c - c_c)} \left[(h_c - c_c)^2 - \frac{d^2}{\left(\frac{\beta_n^2}{\beta_s^2} + 1\right) + \left[\frac{(2a + h_c - c_c)}{2d} - \sqrt{\left(\frac{h_c - c_c}{2d}\right)^2 - V_d \frac{(a + h_c - c_c)}{1,7\phi f_{cd} b \beta_n d^2}}\right]} \right] \quad (24)$$

Onde:

β_s = Coeficiente recomendado pelo PCI (2010), que vale: 0,6 para consolos sem armadura de costura e 0,75 para consolos com armadura de costura.

Nesse caso, foi deduzida a equação para a biela OP, e não para a biela NP, por se tratar de consolos duplos, não apresentam biela NP, representado na figura 4.3.

6. ROTEIRO DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DE CONSOLO CURTO DE CONCRETO

Após a revisão das normas NBR 9062:2017 e NBR 6118:2014, será elaborado neste tópico, um roteiro de cálculo se tratando de consolo curto, onde a aplicação em questão será para conter os esforços verticais do apoio de uma laje como pavimento em um vão de 5 metros. Os consolos em questão acompanham um pilar de dimensões de base 30cm x 50cm. Sendo assim o consolo curto de concreto pré-fabricado será dimensionado de acordo com o método biela- tirante, com suas condicionantes vistas no item 5, adotando também as recomendações de EL DEBS (2017), onde a distância do ponto em que o consolo recebe a força vertical é igual à $\frac{3}{4} \times d$ (altura útil do consolo), indicados para consolos curtos onde a altura útil do consolo é maior que a distância de aplicação da força à face do pilar. A sequência que será seguida para o dimensionamento será a seguinte:

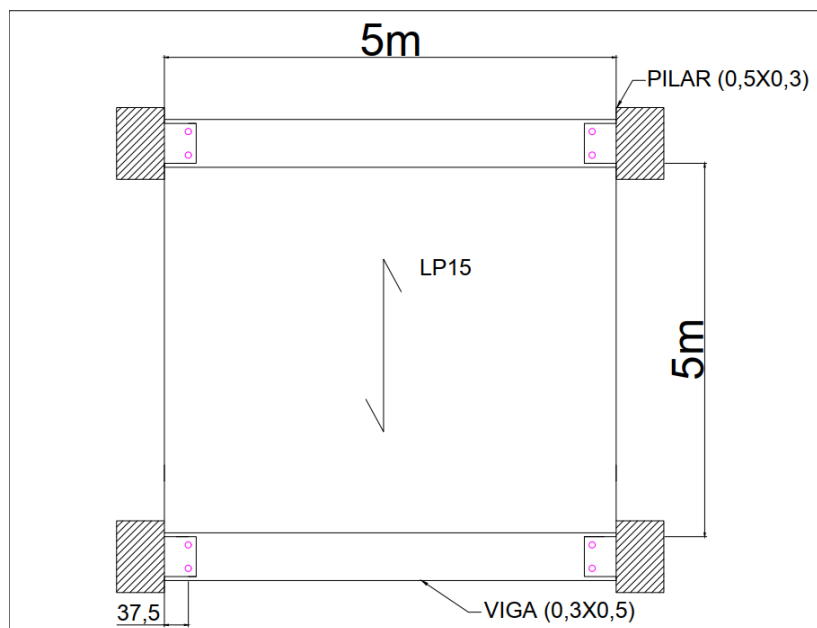
ENGENHARIA CIVIL

1. Cálculo dos esforços verticais nos pontos de apoio
2. Definição das dimensões da seção do consolo de concreto
3. Cálculo das tensões na região de apoio e biela comprimida
4. Cálculo da armação do tirante e estribos (verticais e horizontais)
5. Definição do diâmetro das ferragens
6. Detalhamento da armadura do consolo

6.1 Cálculo dos esforços verticais

Visto que os consolos à serem dimensionados receberão vigas de seção 0,3m x 0,5m que apoiarão uma laje como pavimento em um vão de 5 metros, conforme indica a figura 29.

Figura 29 - Detalhamento do apoio



Fonte: Elaborado pelo autor

Devemos considerar todos os elementos que geram carga nas reações de apoio, calculando o peso do elemento por m^2 , multiplicado pela área total do vão ($25 m^2$) e seu devido coeficiente de majoração. Sendo assim:

ENGENHARIA CIVIL

Peso Próprio da laje = $2,26 \text{ kN/m}^2 \times 25 \times 1,3 = 73,45 \text{ kN}$

Capa = $1,50 \text{ kN/m}^2 \times 25 \times 1,4 = 52,5 \text{ kN}$

Revestimento = $1 \text{ kN/m}^2 \times 25 \times 1,4 = 35 \text{ kN}$

Carga acidental = $1 \text{ kN/m}^2 \times 25 \times 1,4 = 3,5 \text{ kN}$

Alvenaria = $25 \times 1,5\text{m} \times 1,4 = 52,5 \text{ kN}$

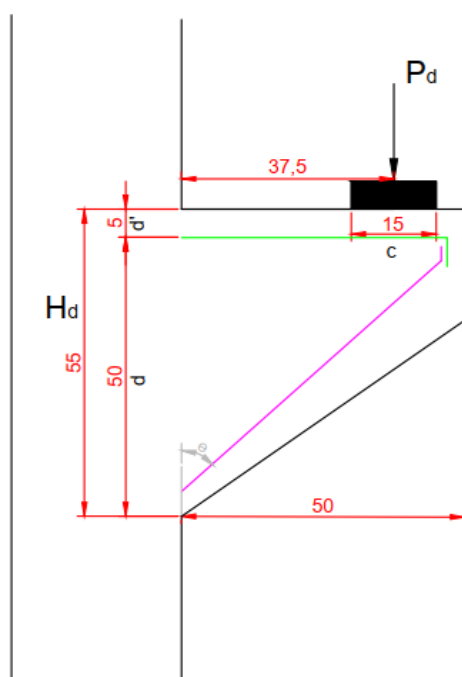
Peso próprio da Viga = $25 \times (0,3\text{m} \times 0,5\text{m}) \times 1,3 = 4,9 \text{ kN}$

Reação Total (P_d): 229,1 kN

6.2 Definição das dimensões da seção do consolo de concreto

O consolo em questão terá uma altura útil (**d**) de 50 cm, comprimento de 50 cm e distância da aplicação da força à face do pilar (**a**) de 37,5 cm, com parte inferior chanfrada, caracterizando consolo curto conforme indica a figura 30. O consolo ainda possui largura (**b**) de 25 cm e comprimento do aparelho de apoio (**c**) de 15 cm, representado pela figura 30, à seguir.

Figura 30 - Representação do consolo para roteiro de cálculo



Fonte: Elaborado pelo autor

6.3 Cálculo das tensões na região de apoio e biela comprimida

Para verificar a inclinação da biela comprimida, considera-se a tg de θ , que é o ângulo formado entre a altura do consolo e sua face superior de apoio, portanto:

$$tg\theta = \frac{h}{a+c/2} = \frac{55-5}{37,5+7,5} = 1,11$$

(25)

Onde: $h = d - d'$, portanto $\theta = 47,9^\circ$

De acordo com a NBR 6118:2014, As bielas inclinadas devem ter ângulo de inclinação cuja tangente esteja entre 0,57 e 2 em relação ao eixo da armadura longitudinal do elemento estrutural, portanto inclinação da biela está de acordo com a norma.

Para o cálculo das tensões na região da biela comprimida, é necessário saber a seção por qual essa tensão irá se aplicar, levando ao cálculo do comprimento mínimo da biela em questão, igualando a sollicitação sofrida pela seção à resistência da mesma, sendo assim:

$$C_b = (c + 2d' \times tg\theta) \times sen\theta \therefore$$
$$C_b = (15 + 10 \times tg47,9) \times sen47,9$$

(26)

Conclui-se, portanto que largura mínima da biela vale:

$$C_b = 19,4 \text{ cm}$$

Verificação das tensões no apoio e na biela diagonal comprimida:

No apoio:

$$\tau_d = \frac{P_d}{b \times c} \quad \therefore \tau_d = \frac{229,1}{25 \times 15}$$

(27)

Portanto, a tensão no aparelho de apoio vale $\tau_d = 0,61 \text{ kN/cm}^2$

Na Biela:

Como no consolo em questão, não consideramos os esforços horizontais, a carga vertical de projeto efetiva é igual a própria carga de projeto ($P_d = P_{d,ef}$), sendo assim, calculando a tensão na biela temos:

$$\tau_b = \frac{P_{d,ef}}{b \times c_b \times \text{sen}\theta} \quad \therefore \tau_b = \frac{229,1}{25 \times 19,4 \times 0,74}$$

(28)

Portanto, a tensão na biela vale $\tau_b = 0,64 \text{ kN/cm}^2$

Comparando a condicionante estabelecida no item 4.2.1, os valores de tensão obtidos devem ser menores do que o valor de resistência mínima do concreto à compressão ($f_{cd,r}$), já considerando a fissuração, dado por:

$$f_{cd,r} = 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \quad \therefore f_{cd,r} = 0,6 \times \left(1 - \frac{25}{250}\right) \times \frac{2,5}{1,4}$$

(29)

$fcd_r = 0,96 \text{ kN/cm}^2$, portanto a tensão de apoio (**0,61 kN/cm²**), como a compressão na biela (**0,64 kN/cm²**) são menores que fcd_r , e estão de acordo com o projeto.

6.4 Cálculo das áreas de aço (tirante e estribos)

Para o cálculo da armação do tirante devemos verificar o comprimento do braço de alavanca (**z**) que atua pela sua seção, que vai desde a região tracionada até a região comprimida, portanto $z = a \times \text{tg } \theta$.

$$z = a \times \text{tg } \theta \therefore z = 41,5 \text{ cm}$$

Após a obtenção do comprimento do braço de alavanca, é possível calcular a força total aplicada no tirante (**R_{sd}**), multiplicando a distancia do esforço e valor da carga aplicada em razão da própria distancia de alavanca do tirante, associando essa equação aos esforços horizontais, que no caso em questão, não existem.

$$R_{sd} = \frac{P_d \times a}{Z} \times H_d \left(1 + \frac{e}{Z}\right) \therefore$$

(30)

$$R_{sd} = \frac{229,1 \times 37,5}{41,5} \times 0 \left(1 + \frac{e}{Z}\right) \therefore R_{sd} = 207,01 \text{ kN}$$

Como mencionado no item 4.1.3, a área de aço da armadura do consolo (**As**) se dá pela razão entre a força aplicada e a tensão de escoamento do aço (**fyd**), levando em consideração a utilização do aço CA50. De acordo com as recomendações NBR 7480/07, a resistência ao escoamento característica do aço CA50 vale 50 MPa, portanto:

$$A_s = \frac{R_{sd}}{f_{yd}} = \frac{207,01}{42,6} \therefore A_s = 4,8 \text{ cm}^2$$

(31)

A armadura do tirante será ancorada por meio de solda na extremidade do consolo. Já dentro do pilar a armadura será ancorada de maneira vertical.

O esquema de ancoragem segue os detalhes expostos na ABNT NBR 6118 (2014) item 22.5.1.4. O cálculo do comprimento de ancoragem é feito segundo o item 9.4 da referida norma.

n1= 2.25 (barras nervuradas)

n2= 1 (zona de boa aderência)

n3= 1 para diâmetro menor que 32mm ou ((132-diametro)/100)) para diâmetro maior que 32 mm

lb = 75,34 cm

lb,nec = 56 cm

Armadura final de costura = $2,4 \text{ cm}^2 - (A_{s/2})$, Esta armadura deve ser distribuída em uma faixa vertical $(2/3) \cdot d_c$, logo uma barra de 6,3 mm a cada 7,7 cm.

6.5 Definição do diâmetro das ferragens

Ø Construtivo da biela = **16 mm**

Ø Armadura do tirante = **20 mm**

Ø Armadura de costura (estribos horizontais) = **6,3 mm**

Ø Estribos verticais = **8 mm**

ENGENHARIA CIVIL

6.6 Detalhamento da armadura do consolo

O detalhamento da armadura é feito a partir da tabela de Área de aço da seção conforme o número de barras, conforme a ABNT NBR 4780:2007, onde se tem o número de barras implementadas na armadura a partir da área de aço obtida nos cálculos de dimensionamento.

Figura 31- Tabela área de aço da seção conforme número de barras

Valor nominal para cálculo		Área de aço da seção conforme número de barras – A_s [cm ²]									
ϕ diâmetro (mm)	massa linear (kg/m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5,0	0,16	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
6,3	0,25	0,315	0,63	0,945	1,26	1,575	1,89	2,205	2,52	2,835	3,15
8,0	0,40	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00
10,0	0,63	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20	8,80
12,5	1,00	1,25	2,50	3,75	5,00	6,25	7,50	8,75	10,00	11,25	12,50
16,0	1,60	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00
20,0	2,50	3,15	6,30	9,45	12,60	15,75	18,90	22,05	25,20	28,35	31,50
25,0	4,00	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00
32,0	6,30	8,00	16,00	24,00	32,00	40,00	48,00	56,00	64,00	72,00	80,00
40,0	10,00	12,50	25,00	37,50	50,00	62,50	75,00	87,50	100,00	112,50	125,00

Fonte: NBR 4780 (2007)

Portanto define-se que para:

Armação da biela = **2 barras de ϕ 16 mm**

ϕ Armadura do tirante = **2 barras de ϕ 20 mm**

ϕ Armadura de costura (estribos horizontais) = **4 barras de ϕ 6,3 mm (dois ramos)**

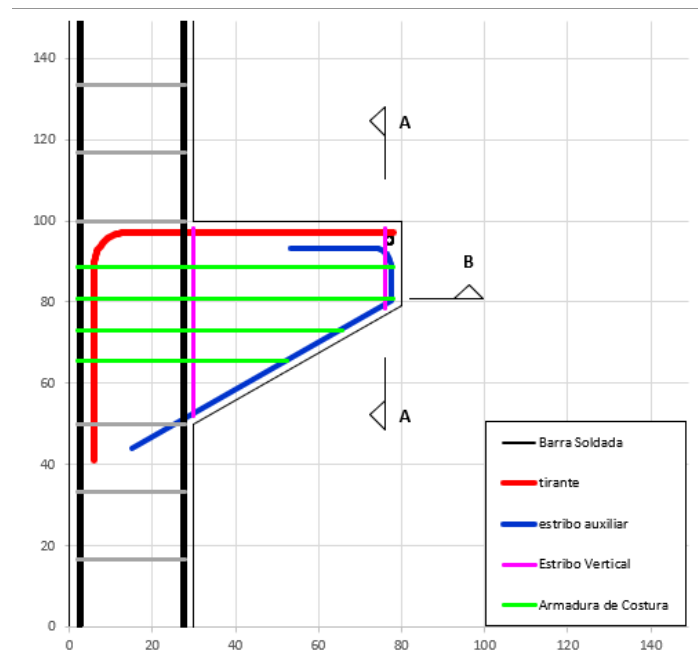
ϕ Estribos verticais = **2 barras de ϕ 8 mm**

ENGENHARIA CIVIL

Para o detalhamento e comprimento das ferragens, foi utilizado o programa Consolus, desenvolvido pelo Mestre Engenheiro Matheus Oliveira Fernandes, especialista em Estruturas de Parede de Concreto e Alvenaria pelo Centro Universitário Adventista de São Paulo e mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de São Carlos. O detalhamento segue os padrões calculados para o roteiro realizado neste item, portanto, tem-se:

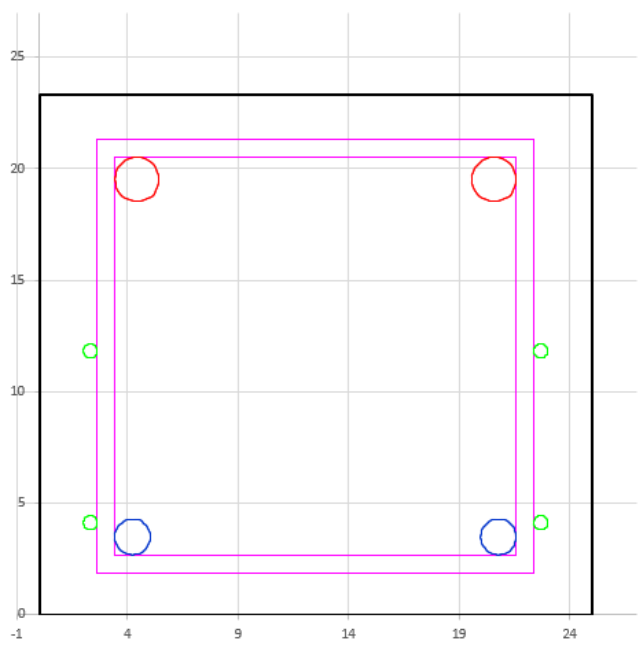
No detalhamento geral do consolo:

Figura 32– Detalhamento Geral do Consolo



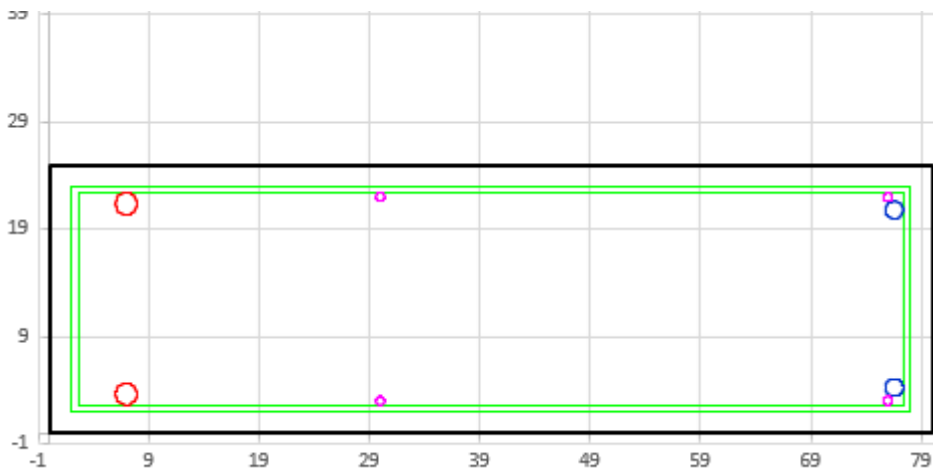
No corte A-A:

Figura 33– Detalhamento no corte A-A



No corte B-B:

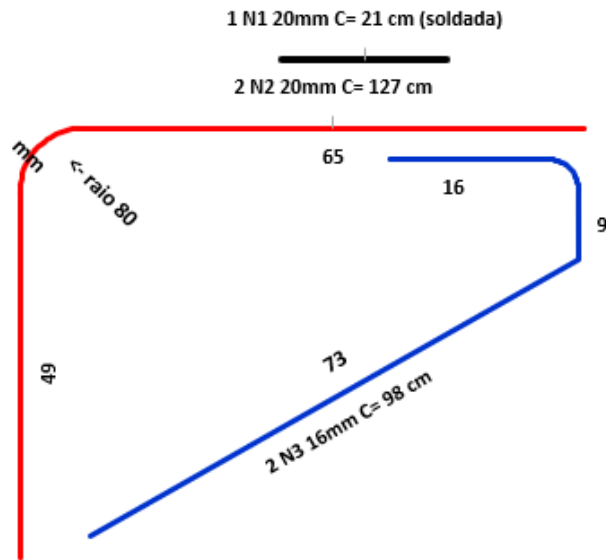
Figura 34– Detalhamento no corte B-B



ENGENHARIA CIVIL

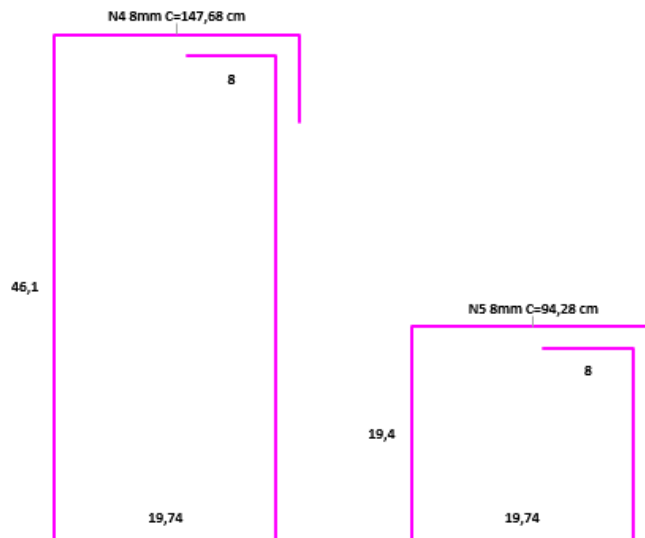
Na Biela Comprimida e Tirante:

Figura 35– Detalhamento na Biela e Tirante



Nos Estribos Verticais:

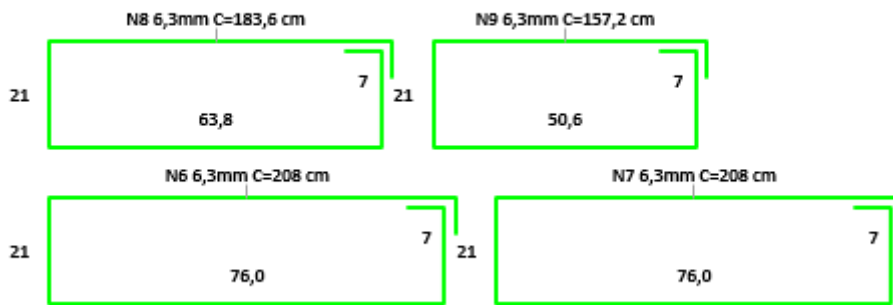
Figura 36 – Detalhamento nos Estribos Verticais



ENGENHARIA CIVIL

Nos Estribos Horizontais:

Figura 37 – Detalhamento nos Estribos Horizontais

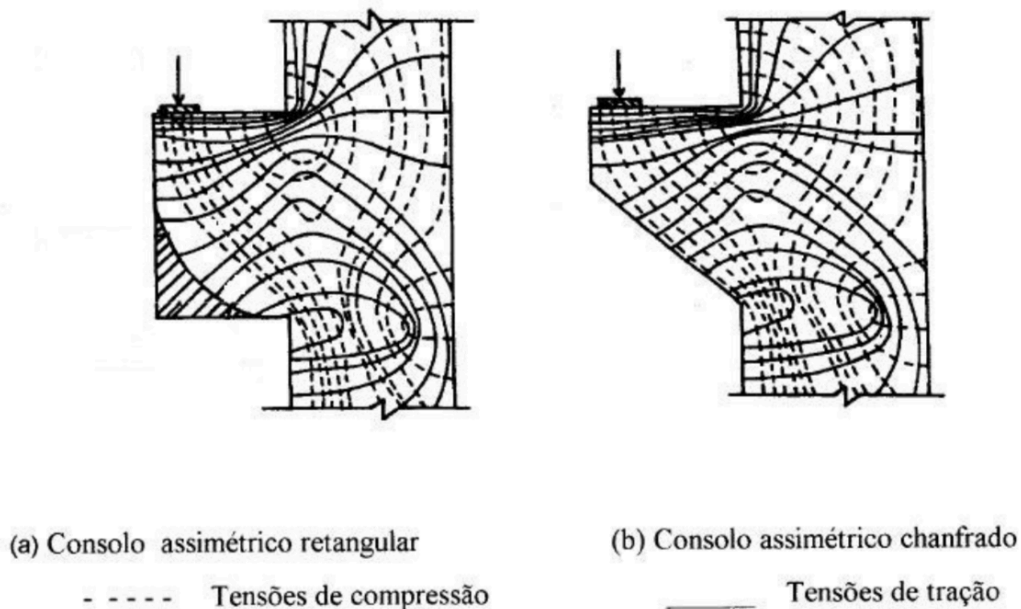


7. CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho abordou-se o contexto histórico e cronológico dos elementos pré-fabricados de concreto, bem como elementos fundamentais dos pórticos estruturais: as ligações. Os detalhamentos de ligações por meio de consolos, tanto na parte de geometria e forma, quanto na parte estrutural da ligação, proporcionam o entendimento da absorção dos esforços provenientes da estrutura apoiada na seção desta peça.

Embora os consolos pré-fabricados de concreto sejam mais comuns, nota-se que não são os únicos que atendem às especificações de projeto, sendo possível identificar diferentes materiais na composição estrutural de um consolo, desde que garanta a segurança quanto às rupturas oferecendo resistência mínima aos esforços de tração e compressão atuantes na estrutura.

Figura 38 - Trajetórias de tensão em consolos.



Fonte: TORRES (1998).

ENGENHARIA CIVIL

O detalhamento da armadura do consolo tem a função de modelar um sistema que de melhor forma possa resolver a questão das tensões presentes na estrutura. Conforme a revisão no trabalho de El Debs (2000) nota-se que para essas tensões de tração e compressão existem dois elementos fundamentais na composição da estrutura de um consolo: o tirante, que é o principal responsável pelos esforços de tração, e a biela comprimida que também absorve os esforços de tração, auxiliando o tirante, porém funciona como escoramento da estrutura nos esforços de compressão provenientes do apoio no consolo. A armadura ainda recebe o acréscimo de estribos que reforçam a estrutura tanto vertical quanto horizontalmente, e a armadura de costura que é responsável por impedir ou conter as fissuras que tendem a se desenvolver nas faces laterais do consolo.

O roteiro de cálculo elaborado para este trabalho é fundamentado nas recomendações das NBR 9062:2017 e NBR 6118:2014, bem como o modelo proposto por EL DEBS (2000), considerando uma distância maior entre a face do pilar e a aplicação da carga vertical para consolos pré-fabricados de concreto. A partir dos cálculos realizados, pode-se verificar que as condicionantes de geometria, tensões, e áreas de armadura estão de acordo com o que foi especificado no projeto do roteiro, bem como o detalhamento da armadura, sendo possível atender as recomendações da norma mesmo com modelos de cálculo distintos, visto que o modelo utilizado não é o único existente.

Em relação as tipologias apresentadas, conclui-se que a principal diferença entre o consolo metálico embutido e o pré-fabricado de concreto, está na composição de armadura e modelo matemático para verificação das tensões, visto que os modelos apresentados possuem características parecidas no que se diz à distribuição dos esforços.

8. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **15575**: Edificações Habitacionais: Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **6118**: Projeto de Estruturas de Concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2003. 238 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **9062**: Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado. Rio de Janeiro, 2003. 37 p.

BACHEGA, L. A. **Estudo Teórico-Experimental de ligação viga-pilar com consolo metálico embutido em estruturas pré moldadas de concreto**. 2013. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação

ELLIOT, K. S. **Precast Concrete Structures**. 1. ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 2002, 375p.

ELLIOT, K. S. **The Design and Construction of Precast Concrete Structures: Joins and connections**. Dublin: Próprio autor, 2007.

EL DEBS, M.K. **Concreto pré moldado: Fundamentos e Aplicações**. 1.ed. São Carlos. EESC-USP,2000,456p.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON (FIB). **Planning and Design Handbook on Precast Building Structures**. Commission on Prefabrication: TaskGroup TG6.12, 2011. 277p.

LEONARDI, Pré Fabricados. **Histórico do pré fabricado**. Disponível em: <https://leonardi.com.br/historico-do-pre-fabricado/>

LEONHARDT,F.; MÖNNING,E. **Construções de Concreto: Princípios Básicos Sobre a Armação de Estruturas de Concreto Armado**. 3. ed. Rio de Janeiro. Ed. Interciência, v. 3, 1978.

MACHADO, C. P. **Consolos curtos e muito curtos de concreto armado**. 1998. (f) Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

OLIVEIRA, E. M. **Consolos de concreto moldados em duas etapas: Influência do tratamento da interface e da adição de fibras de aço**. 2012. f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, 2012.

ENGENHARIA CIVIL

PRECAST / PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTION (PCI). **PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete.** 7.ed. Chicago,2010. 776p.

TORRES, F. M. **Análise Teórico-experimental de consolos de concreto armado.** 1998. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de engenharia de São Carlos, São Carlos, São Paulo, 1998.

VASCONCELOS, A.C.de. **O concreto no Brasil: Pré Fabricação – Monumentos – Fundações.**V.III, 1.ed. Studio Nobel, 2002. 352p.

CENTRO UNIVERSITARIO UNIFAAT

ENGENHARIA CIVIL