

Dimensionamento de Estruturas Especiais de Concreto Armado pelo Método de Bielas e Tirantes

Caio Cesar Pereira de Aguiar¹, Sergio Hampshire de Carvalho Santos²

¹ Mestrando/ Programa de Projeto de Estruturas / Universidade Federal do Rio de Janeiro/
caio.aguiar@poli.ufrj.br

² Professor Titular/ Escola Politécnica / Universidade Federal do Rio de Janeiro/
sergiohampshire@poli.ufrj.br

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo sobre a aplicação do método de bielas e tirantes no dimensionamento de elementos e regiões especiais em estruturas de concreto armado. Na Norma Brasileira de Projeto de Estruturas de Concreto, ABNT 6118 (2014), é definido o método de bielas e tirantes como a forma de analisar estas regiões de descontinuidade. Será aqui exemplificada a aplicação do método, a partir do modelo tridimensional de um edifício desenvolvido no “software” CAD/TQS (2017). São analisados os resultados obtidos com o aplicativo, resultados estes comparados com os obtidos manualmente aplicando o método de bielas e tirantes, a fim de se avaliar a confiabilidade do tratamento das regiões de descontinuidade nos aplicativos comerciais.

Palavras-chave

Concreto armado; bielas e tirantes; CAD/TQS

Introdução

Atualmente o projeto de edificações é feito quase que completamente com o auxílio de “softwares” de desenho e cálculo, que oferecem organização, agilidade, grande precisão, economia de tempo e diminuição do risco de erro em tarefas repetitivas. O projeto estrutural precisa primordialmente se adequar ao projeto arquitetônico e de instalações. Por vezes é necessário inserir aberturas, variar a seção de elementos estruturais ou introduzir outras descontinuidades geométricas ou de cargas, definindo as chamadas regiões especiais. Nestas regiões não é viável a aplicação dos métodos tradicionais de cálculo de análise de seções críticas. A partir do modelo de treliça clássica concebido por RITTER (1899) e MÖRSCH (1909), este modelo de treliça foi estendido, a partir da contribuição de vários pesquisadores, para a análise de todas as partes de uma estrutura com os modelos de bielas e tirantes. O método de bielas e tirantes, foi sistematizado por SCHLAICH *et al.* (1987).

Os modelos são idealizados a partir da observação do caminho das cargas em uma estrutura, configurando uma treliça autoequilibrada, composta por bielas representando as tensões de compressão no concreto, tirantes representando as tensões de tração nas armaduras e nós conectando bielas e tirantes e recebendo os carregamentos.

A NBR 6118 (2014) recomenda a adoção deste método para analisar regiões com descontinuidade estática ou geométrica. O objetivo deste trabalho é verificar como os aplicativos comerciais de projeto automatizado como o CAD/TQS (2017) tratam estas regiões de descontinuidade, através da comparação de resultados obtidos com esse aplicativo e os avaliados manualmente aplicando o método de bielas e tirantes.

O trabalho resume a Dissertação de AGUIAR (2018), orientada pelo segundo autor.

Metodologia de cálculo

O procedimento geral para a análise com modelos de bielas e tirantes pode ser resumido da seguinte forma:

- 1º Determinação das forças atuantes no contorno da estrutura, tais como cargas aplicadas e reações de apoio, através de uma análise elástica.
- 2º Elaboração do modelo de bielas e tirantes, seguindo o caminhamento das cargas.
- 3º Substituição das cargas distribuídas por cargas concentradas nos nós e dos momentos por binários.
- 4º Cálculo da treliça isostática, obtendo os esforços normais de compressão nas bielas e de tração nos tirantes.
- 5º Verificação das tensões de compressão nas bielas e nos nós críticos e cálculo das áreas de aço necessárias nos tirantes e suas devidas ancoragens.
- 6º Detalhamento das armaduras de forma compatível com o posicionamento dos tirantes no modelo idealizado.

Parâmetros de cálculo

As verificações das tensões de compressão podem ser feitas da seguinte forma.

Define-se inicialmente a variável α_{V2} :

$$\alpha_{V2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250} \quad (1)$$

Definem-se as tensões resistentes no concreto:

f_{cd1} – Máxima tensão resistente de compressão no concreto em regiões sem tensões de tração transversais e em nós totalmente comprimidos (Nós CCC).

$$f_{cd1} = 0,85 \cdot \alpha_{V2} \cdot f_{cd} \quad (2)$$

f_{cd2} – Máxima tensão resistente de compressão no concreto em regiões com tensões de tração transversais e em nós onde confluem dois ou mais tirantes (Nós CTT).

$$f_{cd2} = 0,60 \cdot \alpha_{V2} \cdot f_{cd} \quad (3)$$

f_{cd3} – Máxima tensão resistente em nós onde conflui somente um tirante (Nós CCT).

$$f_{cd3} = 0,72 \cdot \alpha_{V2} \cdot f_{cd} \quad (4)$$

A área de aço necessária a ser considerada em cada tirante A_S é dada, em função das forças de tração T_d nos tirantes, por:

$$A_S = \frac{T_d}{f_{yd}} \quad (5)$$

Análise dos elementos especiais de uma edificação com auxílio do CAD/TQS

Foi criado um edifício fictício no CAD/TQS (2017), versão Unipro V18.18.14, contendo diversas regiões especiais situadas em regiões de descontinuidade, com duas soluções em fundação (blocos sobre estacas e sapatas rígidas), a fim de se analisar como este “software” calcula e detalha essas estruturas.



Figura 1 – Vista 3D do modelo da edificação

Modelos adotados

A partir dos carregamentos e esforços obtidos no modelo mostrado na Figura 1, foram elaborados modelos de bielas e tirantes para resolução manual dos elementos especiais.

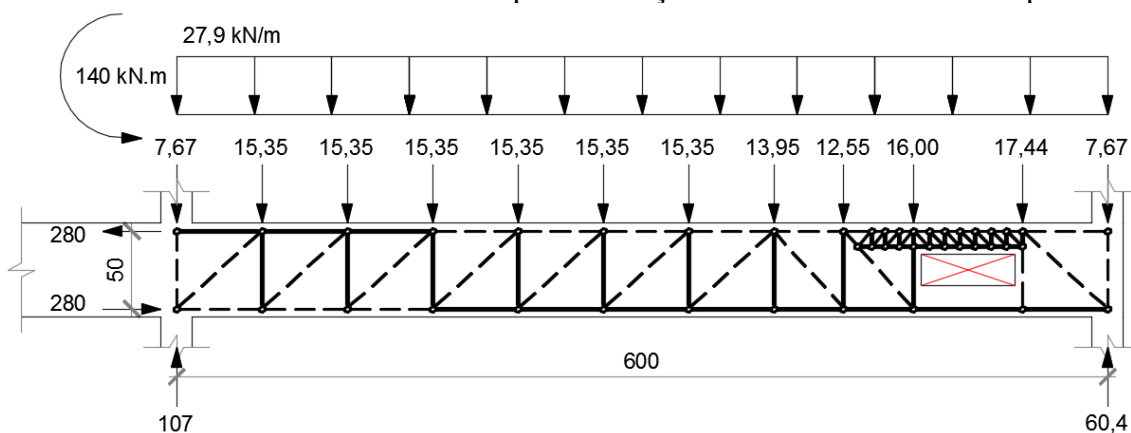


Figura 2 – Modelo de bielas e tirantes da viga com abertura próximo ao apoio

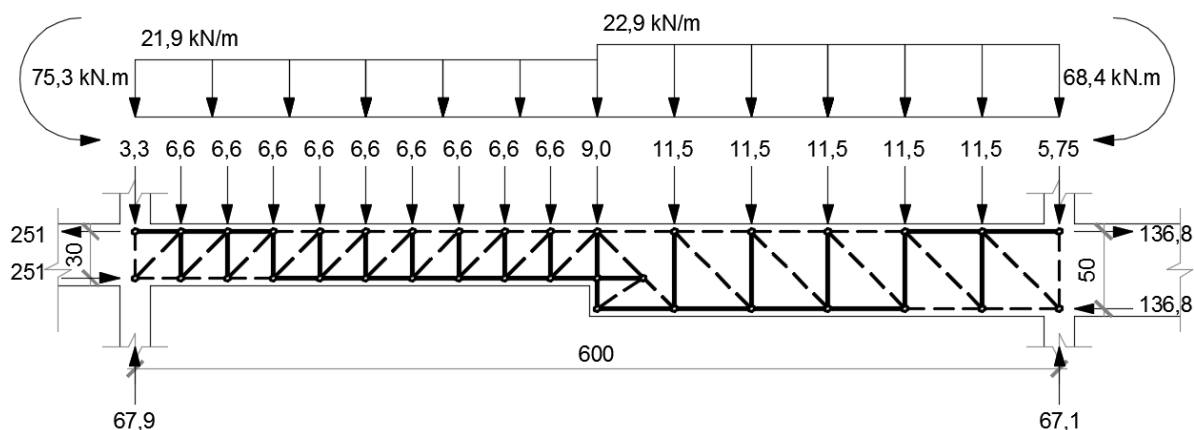


Figura 3 – Modelo de bielas e tirantes da viga com variação de altura

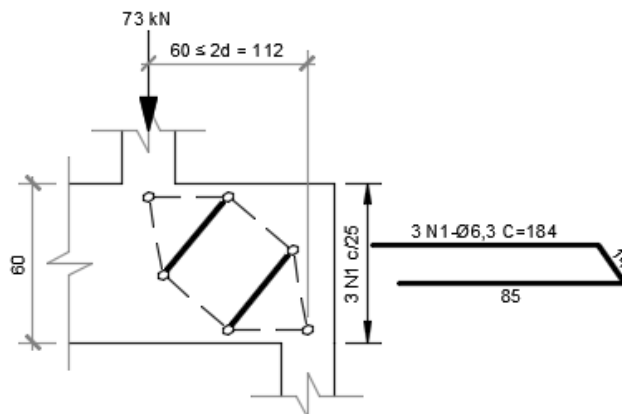


Figura 4 – Modelo de bielas e tirantes para carga direta próxima ao apoio

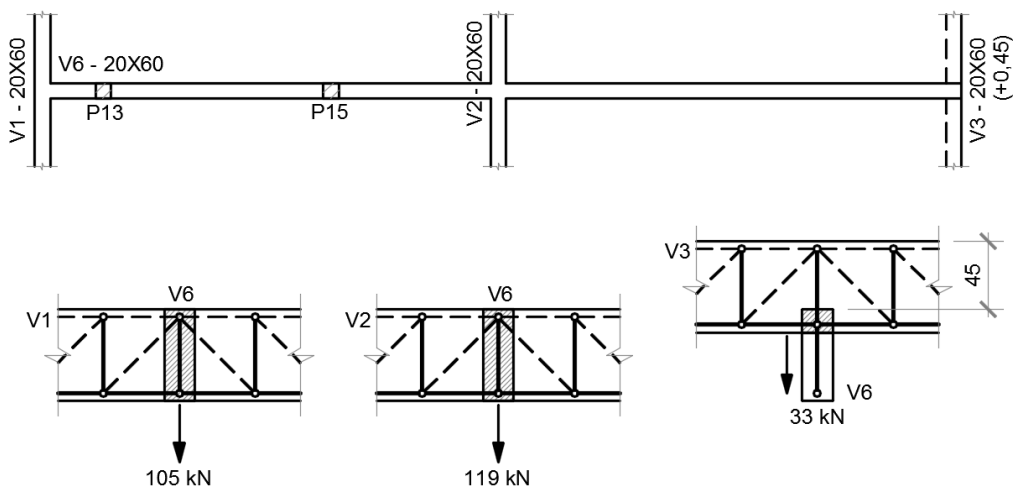


Figura 5 – Detalhamento, região de apoio indireto de vigas

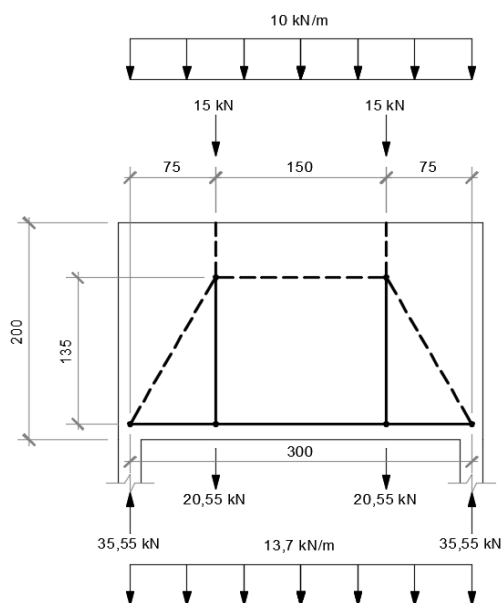


Figura 6 – Modelo de bielas e tirantes para a viga parede da caixa d'água

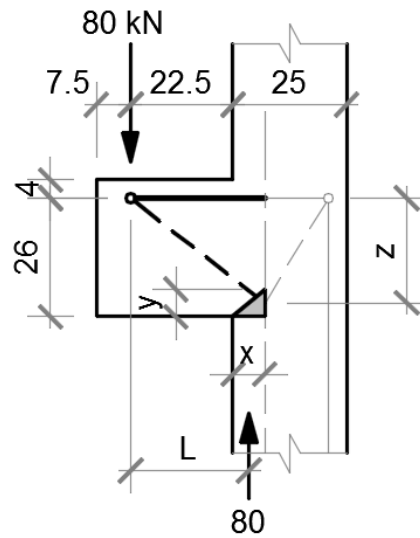


Figura 7 – Modelo de bielas e tirantes de consolo curto

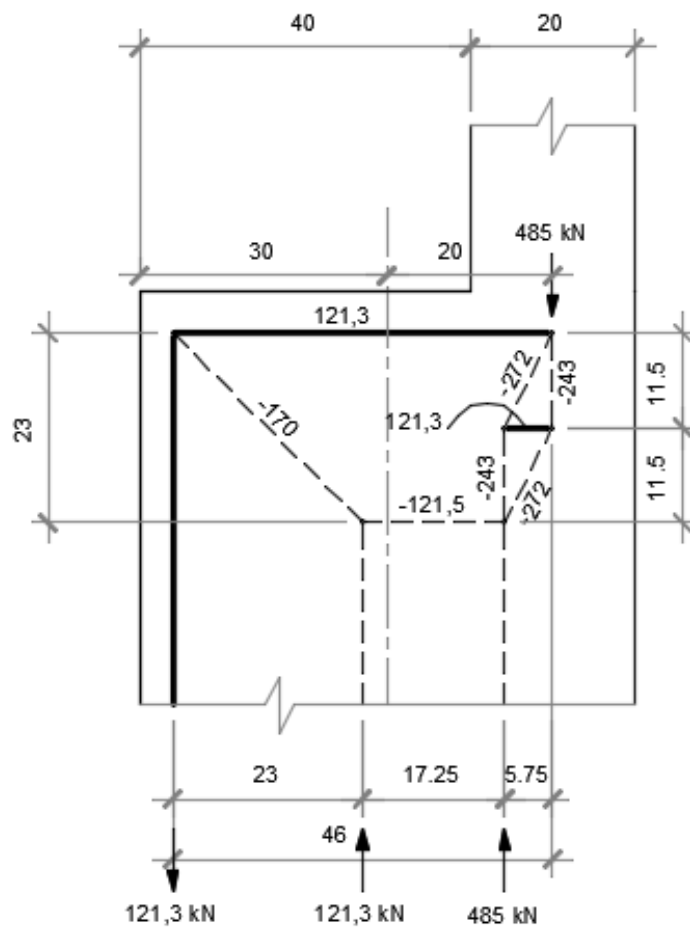


Figura 8 – Modelo de bielas e tirantes para transição de comprimento em pilar

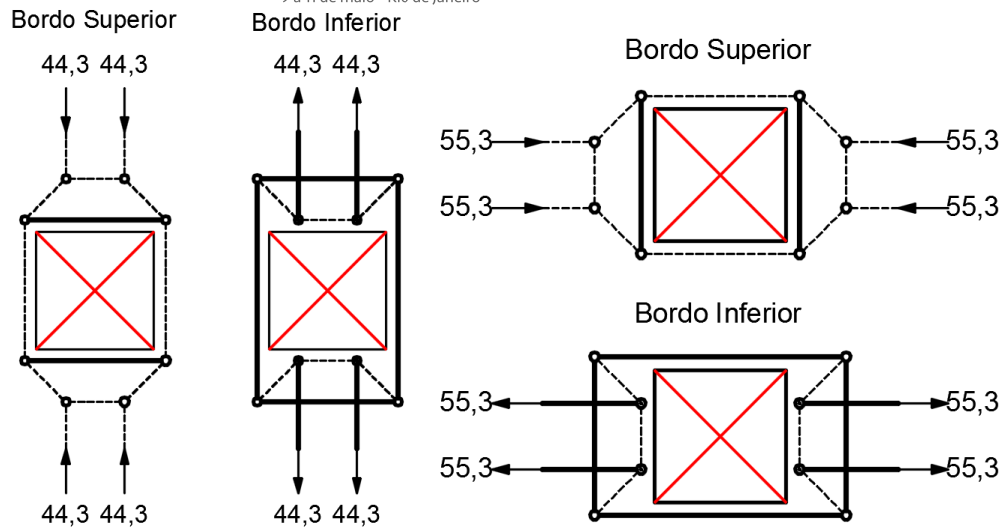


Figura 9 – Modelos vertical e horizontal de bielas e tirantes, aberturas em lajes

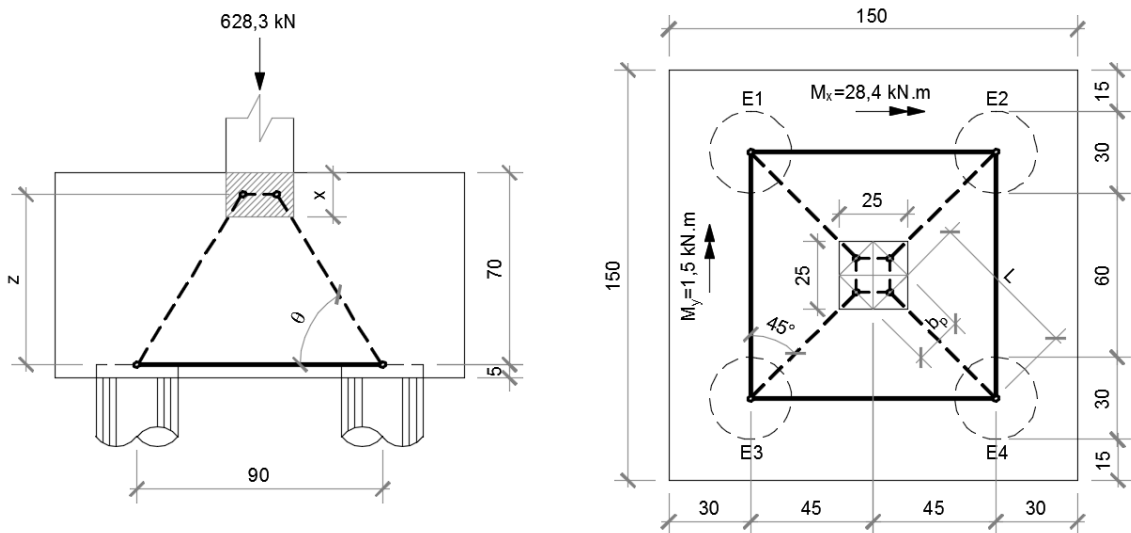


Figura 10 – Modelo de bielas e tirantes de bloco de estacas

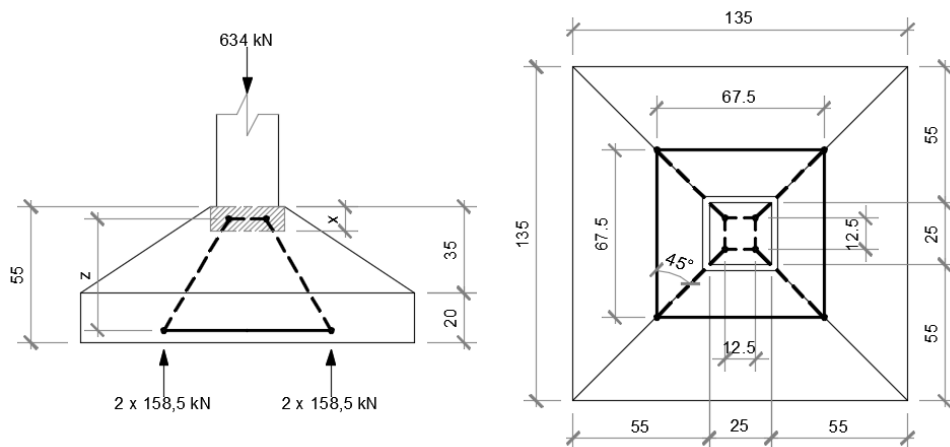


Figura 11 – Modelo de bielas e tirantes de sapata

Análise de resultados

Viga com abertura (Figura 2)

O CAD/Vigas do TQS dimensiona e detalha automaticamente aberturas retangulares e circulares analisando os esforços em uma seção situada no meio da abertura, com base nos critérios (de viga “vierendeel”) propostos por LEONHARDT (1978) e SÜSSEKIND (1985). Esta solução leva a um esquema não simétrico de armaduras (Figura 12). Apesar deste se constituir em um detalhamento tradicional, não são atendidas as condições de equilíbrio de forças internas. Recomenda-se uma análise manual, aplicando modelos de bielas e tirantes, conforme proposto por SCHLAICH *et al.* (1987) e, no caso em análise, como apresentado na Figura 2.

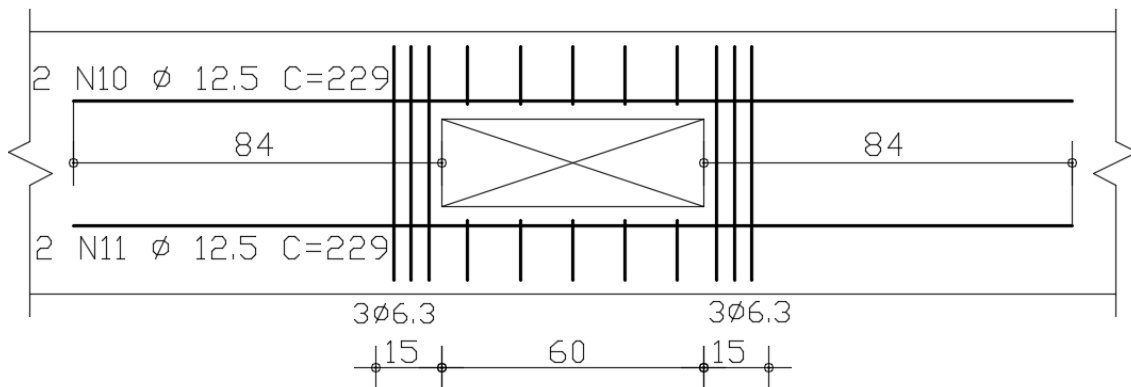


Figura 12 – Viga com abertura detalhada com o CAD/TQS

Viga com variação de altura (Figura 3)

O CAD/Vigas do TQS não permite a variação de seção no vão, sendo o processamento interrompido por um aviso de classe grave. O cálculo manual apresentado na Figura 3 deve ser feito e incorporado ao projeto.

Viga com carga concentrada próximo ao apoio (Figura 4)

O CAD/Vigas não detalha as armaduras verticais e horizontais necessárias ao combate das tensões de tração devidas à carga concentrada próxima ao apoio, que devem ser calculadas e acrescentadas manualmente. Observa-se também que no detalhamento das esperas do pilar (Figura 13) as dobras deveriam estar para o lado interno.

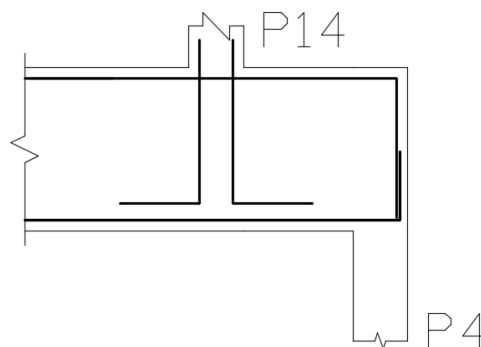


Figura 13 – Viga com carga próxima ao apoio detalhada com o CAD/TQS

Vigas com cargas indiretas (Figura 5)

O modelador estrutural permite considerar o cruzamento entre vigas. No entanto, o projetista deverá indicar qual viga irá receber a carga nos cruzamentos. Uma decisão errada do projetista levará a uma consideração incorreta por parte do programa.

O CAD/Vigas calcula e detalha a armadura dos estribos de suspensão automaticamente, porém não é claro qual a faixa de distribuição considerada pelo programa. A Figura 14 ilustra o detalhamento de uma armadura de suspensão no CAD/TQS.

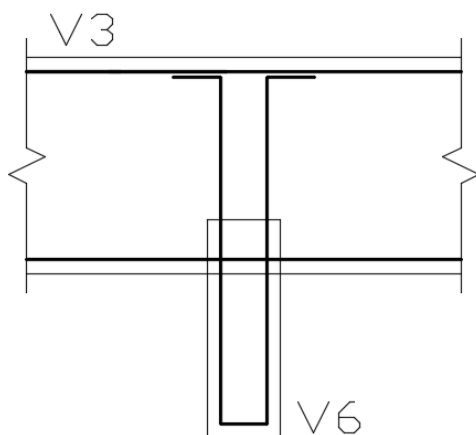


Figura 14 – Detalhamento das armaduras de suspensão no CAD/TQS

Viga parede (Figura 6)

O CAD/TQS reconhece uma viga parede, emitindo um aviso de classe leve, mas a calcula como uma viga comum, resultando em armaduras elevadas sem necessidade estrutural.

Pelo método de bielas e tirantes, a armadura longitudinal pode ser facilmente determinada dividindo-se os momentos fletores máximos pelos braços de alavanca, definidos com base em resultados da Teoria da Elasticidade (ver Figura 6).

Consolos curtos (Figura 7)

O módulo do CAD/TQS para estruturas pré-moldadas, o TQS PREO apresenta um dimensionamento específico para consolos curtos. Em edifícios de concreto moldados “in loco”, o CAD/TQS emite um aviso de classe leve de que o consolo não é uma viga em balanço. O cálculo com o Método de Bielas e Tirantes deve ser feito manualmente, incluindo a verificação da biela de concreto. O detalhamento deve ser corrigido para compatibilizá-lo com o modelo de bielas e tirantes considerado.

Transição de pilares (Figura 8)

O modelador estrutural do CAD/Pilar permite facilmente variar a seção de pilares entre pavimentos, dimensionando e detalhando cada lance separadamente. É emitida mensagem de alerta nos desenhos de armadura onde ocorre variação de seção, ficando a responsabilidade para o engenheiro de dimensionar e detalhar a região de

descontinuidade manualmente. Outra observação é de que é necessário verificar na transição se as armaduras de espera para o pavimento superior estão corretas, pois podem estar em excesso ou não existir nenhuma armadura.

Abertura em lajes (Figura 9)

O CAD/Lajes não detalha as armaduras de reforço no contorno de pequenas aberturas conforme proposto pela NBR 6118, sendo necessário acrescentá-las manualmente. No caso de grandes aberturas em que o comportamento da laje se altera, é necessário calcular manualmente os esforços nos bordos livre com modelos de bielas e tirantes e posteriormente dimensionar e detalhar as armaduras no contorno da abertura.

Blocos sobre estacas (Figura 10)

O CAD/Fundações calcula os blocos pelo método de bielas e tirantes, aplicando os critérios de BLÉVOT (1967) ou de FUSCO (1985).

Os esforços são calculados considerando-se um pilar quadrado centralizado, sendo necessário utilizar um artifício de pilar quadrado equivalente, o que não assegura a precisão do cálculo. O sistema apresenta coeficientes de segurança adicionais que podem conduzir a uma armadura principal antieconômica, com um coeficiente COEFRED reduzindo o braço de alavanca da flexão e um coeficiente γ_n majorando os esforços.

É importante o projetista editar os dados dos critérios de dimensionamento de maneira a que se tenha um melhor dimensionamento e um detalhamento apropriado, já que o sistema carece por exemplo de referências quanto às armaduras de construção.

Sapata rígida (Figura 11)

O CAD/Fundações majora os esforços por um coeficiente $\gamma_n = 1,2$. Os esforços não são calculados com modelos de bielas e tirantes. Além do esforço normal são considerados os momentos atuando na base do pilar, calculando-se as tensões na base da sapata para uma flexão composta oblíqua e transformando essas tensões em um carregamento equivalente que atuará em cada uma das quatro abas. Estas são dimensionadas como vigas em balanço com seção transversal trapezoidal.

Conclusões

Tendo em vista a aplicação quase que geral, atualmente, dos aplicativos de projeto automatizado de estruturas de concreto, considera-se necessária uma análise cuidadosa da confiabilidade destes sistemas. Escolheu-se neste trabalho analisar o aplicativo CAD/TQS, um dos mais utilizados, conceituados e confiáveis dos “softwares” disponíveis no mercado nacional, quanto à consideração de regiões especiais.

Este aplicativo foi já objeto de diversos outros estudos na Escola Politécnica da UFRJ, como os de BELLAS (2015), de AMÂNDULA (2015) e de RIBEIRO (2015). Estes estudos anteriores atestaram a grande confiabilidade do aplicativo.



O foco do presente estudo foi a consideração de regiões especiais pelo aplicativo, que evidentemente é um problema muito difícil de ser completamente automatizado. Identificou-se que este apesar de nem sempre o CAD/ TQS analisar e detalhar as regiões da forma mais correta, sempre emite avisos para que o projetista faça as adaptações necessárias ao projeto, o que deverá assegurar a segurança das estruturas.

Referências

AGUIAR, C. C. P.; *Dimensionamento de estruturas especiais de concreto armado pelo método de bielas e tirantes*. Dissertação de Mestrado (em elaboração), Programa de Projeto de Estruturas, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

AMÂNDULA, M. V. D., *Análise Automatizada de uma Edificação com Ênfase no Projeto de Vigas*, Projeto de Graduação, Escola Politécnica da UFRJ, 2015

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), *NBR 6118, Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos*. Rio de Janeiro, 2014.

BELLAS, B. F., *Análise Automatizada de uma Edificação com Ênfase no Projeto de Lajes*, Projeto de Graduação, Escola Politécnica da UFRJ, 2015;

BLÉVOT, J.; FRÉMY, R.; Semelles sur pieux, *Annales de l'institut technique du bâtiment et des travaux publics*.1967.

FUSCO, P. B., *Técnicas de armar as estruturas de concreto*. Editora Pini, São Paulo, 1995.

LEONHARDT, F e MÖNNING, E.; *Construções de Concreto, Volume 3: Princípios básicos sobre a Armação de Estruturas de Concreto Armado*. Editora Interciência Ltda, Rio de Janeiro, 1978.

MÖRSCH, E.; Concrete-steel construction. *The engineering news publishing company*.1909

RIBEIRO, E. H. R., *Análise Automatizada de uma Edificação com Ênfase no Projeto de Pilares*, Projeto de Graduação, Escola Politécnica da UFRJ, 2015

RITTER, W. Die bauweise hennebique. *Schweizerische Bauzeitung*.1899

SCHLAICH, J.; SCHAFER, K.; JENNEWEIN, M.; Toward a consistent design of structural concrete. *Journal of the PCI*, Vol. 32, No. 3, May/June 1987.

SÜSSEKIND, J, C.; *Curso de concreto, volume II: concreto armado*. Editora Globo, Rio de Janeiro, 1985.

TQS INFORMÁTICA LTDA.; *Sistemas CAD/TQS para Windows*, Versão Unipro V18.18.14, São Paulo, 2017.