

Estudos sobre Dimensionamento e Detalhamento de Armaduras Transversais em Vigas de Concreto Armado.

Studies on the Design and Detailing of Shear Reinforcement in Reinforced Concrete Beams

Luis Carlos Seelbach(1); Daniel Domingues Loriggio (2)

(1) Mestre, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Regional de Blumenau
email :seelbach@furb.br

Rua: Frei Efrem, 126; Blumenau-SC; CEP 89037-340

(2) Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina
email: loriggio@ecv.ufsc.br

Rua João Pio Duarte Silva, s/n; Florianópolis-SC; CEP 88040-970

Resumo

Este trabalho tem por objetivo estudar as principais alterações que a nova NBR 6118/2003, propõe para o dimensionamento das armaduras transversais de vigas de concreto armado. Serão apresentados os dois modelos propostos pela norma e mostrados vários resultados obtidos pelos mesmos. Para realizar este estudo foi elaborado o programa VigaCalc, desenvolvido no Laboratório de Análise de Estruturas (LAE) da Universidade Federal de Santa Catarina. Com a utilização do programa foram analisados vários exemplos, estudando-se inicialmente as diferenças obtidas com a utilização dos dois modelos, com ênfase na variação da inclinação das bielas de compressão do modelo II. Foram estudados, também, os efeitos das cargas atuantes sobre a peça, do valor da resistência característica à compressão do concreto entre os valores 20MPa e 50MPa e da largura das vigas. Realizam-se comparações entre as diversas áreas de armadura transversal necessárias, permitindo detectar quais os aspectos que tem maior influência na otimização das armaduras transversais.

Palavras-Chave: armadura transversal, vigas, concreto armado

Abstract

This work studies the changes made by the brazilian code for the design of concrete structures (NBR 6118/2003) related to the shear reinforcement design. The two models proposed by the code and their respective results are presented. In order to carry out this study VigaCalc software was developed in the Laboratory of Structural Analysis (LAE) at the Federal University of Santa Catarina. Several examples were analyzed initially comparing the two models with emphasis in the struts inclination of model II. The effect of loads, concrete strength (20 – 50 MPa) and beam width were also studied. These results were compared providing relevant information on which aspects influence the shear reinforcement optimization.

Keywords: shear reinforcement, beams, reinforced concrete

1 Introdução

Neste trabalho estudam-se as principais alterações que a nova norma NBR 6118/2003, propõe para o dimensionamento das armaduras transversais de vigas de concreto armado. Para isto, serão apresentados vários exemplos, com a finalidade de analisar as diferenças obtidas com a utilização dos dois modelos, o efeito das cargas que atuam sobre a viga, a resistência característica à compressão do concreto e a largura das vigas provocam sobre a armadura transversal.

2 Dimensionamento da armadura transversal (segundo NBR 6118/2003)

A NBR 6118/2003 apresenta dois métodos de cálculo para a determinação da armadura transversal, que pressupõe a analogia com modelo em treliça de banzos paralelos associados a mecanismos resistentes complementares desenvolvidos no interior do elemento estrutural e traduzidos por uma componente adicional V_c . O primeiro método admite que as diagonais de compressão tenham inclinação de 45° em relação ao eixo longitudinal da peça, e que V_c é suposto constante. O segundo método admite que as diagonais de compressão tenham inclinação diferente de 45° , compreendida no intervalo de 30° a 45° , e considera a parcela V_c com valores reduzidos.

A NBR 6118/2003 diz: “A resistência da peça numa determinada seção transversal é satisfatória quando verificadas, simultaneamente as seguintes condições”:

$$V_{Sd} < V_{Rd2} \quad \text{(Equação 1)}$$

$$V_{Sd} < V_{Rd3} = V_c + V_{sw} \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde: V_{Sd} é a força cortante solicitante de cálculo, na seção;

V_{Rd2} é a força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto;

$V_{Rd3}=V_c+V_{sw}$ é a força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína por tração diagonal, onde V_c é a parcela de força cortante absorvida por mecanismos complementares ao de treliça e V_{sw} a parcela absorvida pela armadura transversal.

2.1 Modelo de Cálculo I:

Neste modelo a resistência da peça é assegurada pela verificação da compressão diagonal do concreto e pelo cálculo da armadura transversal, conforme as equações (3) e (4).

$$V_{Rd2}=0,27 \cdot \alpha_v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d, \text{ com: } \alpha_v=(1-(f_{ck}/250)) \quad \text{(Equação 3)}$$

$$V_{sw}=(A_{sw}/s) \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot (\text{sen}\alpha + \text{cos}\alpha), \text{ em que: } \quad \text{(Equação 4)}$$

$V_c = 0$, nas peças tracionadas quando a linha neutra se situa fora da seção;

$V_c = V_{co}$, na flexão simples e na flexo-tração com a linha neutra cortando a seção;

$V_c=(V_{co}+V_{co} \cdot (M_o/M_d)) \leq 2 \cdot V_{co}$, na flexo-compressão com: $V_{co}=0,6 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$;

Sendo:

M_o = momento fletor que anula a tensão normal de compressão na borda da seção;

$M_{d,max}$ = momento fletor de cálculo máximo no trecho em análise;

$f_{ctd}=f_{ctk,inf} / \gamma_c$, sendo $f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ctm}$ e $f_{ctm}=0,3 f_{ck}^{2/3}$ (f_{ck} em MPa).

onde: f_{ctd} = resistência de cálculo à tração do concreto;

$f_{ctk,inf}$ = resistência característica inferior à tração do concreto;
 f_{ctm} = resistência média do concreto à tração direta;

2.2 Modelo de Cálculo II:

Quando utilizando este modelo a resistência da peça é assegurada pela verificação da compressão diagonal do concreto e pelo cálculo da armadura transversal, conforme as equações (5) e (6).

$$V_{Rd2} = 0,54 \cdot \alpha_v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \cdot \sin^2 \theta \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \quad (\text{Equação 5})$$

$$V_{sw} = (A_{sw}/s) \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha, \text{ em que:} \quad (\text{Equação 6})$$

$V_c = 0$, nas peças tracionadas quando a linha neutra se situa fora da seção:

$V_c = V_{c1}$, na flexão simples e na flexo-tração com a linha neutra cortando a seção;

$V_c = (V_{c1} + V_{c1} \cdot (M_o / M_d)) \leq 2 \cdot V_{c1}$, na flexo-compressão com:

$V_{c1} = V_{co}$, quando $V_{Sd} = V_{co}$ e

$V_{c1} = 0$, quando $V_{Sd} = V_{Rd2}$, interpolando-se linearmente pra valores intermediários.

3 Programa Vigacalc.

Para realizar os estudos que aqui serão apresentados, foi necessário desenvolver um programa que realizasse o dimensionamento e detalhamento das armaduras transversais, segundo a NBR 6118/2003. Em virtude de que, no período em que foram realizados os estudos, os programas de cálculo estrutural não estavam adequados a nova norma.

As rotinas computacionais foram desenvolvidas no ambiente de linguagem Visual Basic, no Laboratório de Análise de Estruturas (LAE) da Universidade Federal de Santa Catarina, durante o desenvolvimento da dissertação de Luis Carlos Seelbach.

4 Discussão dos resultados.

Apresentam-se a seguir quatro exemplos, sendo os dois primeiros semelhantes, alterando-se as cargas atuantes sobre a peça e também variou-se o valor da resistência característica à compressão do concreto entre os valores 20MPa e 50MPa, para analisar a sua influência sobre a armadura transversal. Nos outros dois exemplos realizam-se estudos sobre a influência que a largura das vigas, os carregamentos e a resistência do concreto têm sobre a armadura transversal.

4.1 Exemplo 1 e 2:

Estes exemplos consistem em vigas biapoiadas com dimensões e carregamento conforme figura 1, que correspondem a dimensões e carregamentos usuais em edificações.

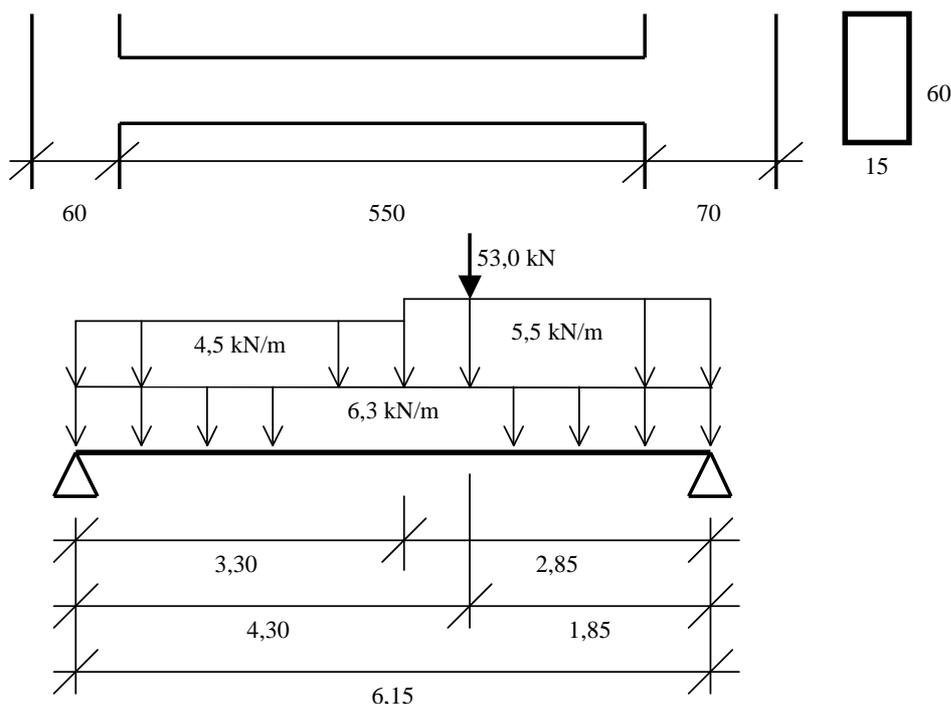


Figura 1 - Dimensões e Carregamentos da Viga do Exemplo 1. (SEELBACH (2004))

A Viga do Exemplo 2 é semelhante à viga acima, diferindo desta apenas no valor das cargas que atuam na viga. As cargas 53kN, 4,5kN/m e 5,5kN/m são substituídas respectivamente pelas seguintes: 50kN, 15,0kN/m e 6,5kN/m.

Com os valores encontrados, relacionou-se a quantidade de armadura transversal necessária (A_{sw}) com a inclinação das bielas de compressão, para os modelos de cálculo I e II, propostos pela norma. Como o modelo I não prevê a variação da inclinação das bielas de compressão, este está representado na forma de uma linha reta, cuja abscissa corresponde à quantidade necessária de armadura transversal. O modelo II, por sua vez, apresenta uma variação na quantidade de armadura transversal em função da inclinação das bielas de compressão. Essas relações podem ser observadas na figura 2, para os apoios esquerdo e direito, da viga exemplo 1.

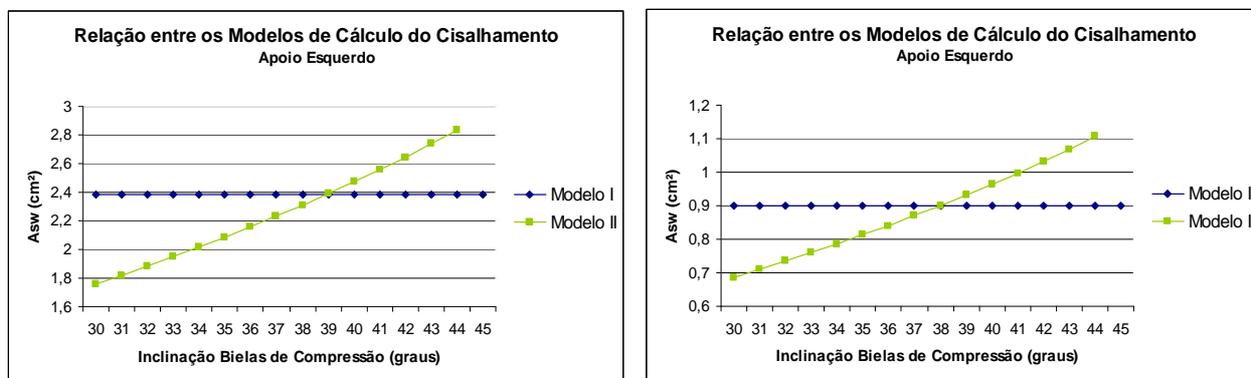


Figura 2 - Gráficos Comparativos de A_{sw} da Viga 01 – (f_{ck} 20MPa). (SEELBACH (2004))

Da análise dos gráficos acima e dos valores obtidos para a viga exemplo 2, observa-se que o modelo II fornece um valor de armadura transversal inferior ao modelo I, até uma inclinação da biela comprimida compreendida entre 39° e 40°.

De posse dos valores encontrados para a armadura transversal necessária, procedeu-se à variação do valor da resistência característica do concreto, traçando-se os gráficos da figura 3.

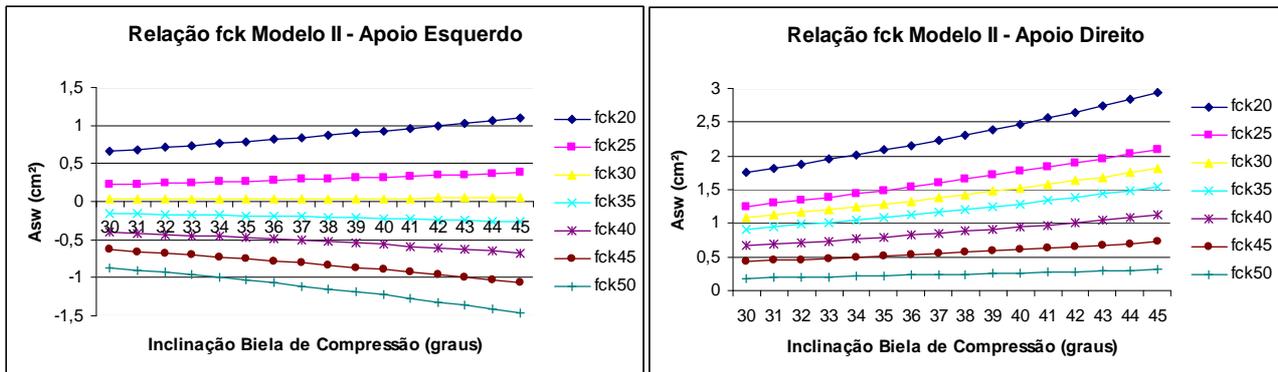


Figura 3 - Gráficos Comparativos Variação f_{ck} Viga 01. (SEELBACH (2004))

Ao analisar os gráficos da figura 3 e os valores obtidos para a viga exemplo 2, observa-se que o valor da armadura transversal diminui com o aumento do f_{ck} . Outro detalhe que chama atenção no gráfico refere-se ao apoio esquerdo, cujo valor da armadura transversal torna-se negativo a partir do f_{ck} 35MPa. Isto se deve ao fato de que, com um f_{ck} igual ou superior a 35MPa, os mecanismos complementares ao de treliça são superiores à força cortante solicitante, tornando-se desnecessário o uso de armadura. Outro fato observado durante a realização deste exemplo, foram as bielas que resistiram com bastante folga, como pode ser facilmente comprovado, ao comparar-se o valor da força cortante solicitante de cálculo (V_{Sd}) com o valor da força cortante resistente de cálculo (V_{Rd2}).

4.2 Exemplo 3 e 4:

Estes exemplos consistem em vigas biapoiadas, com as mesmas dimensões da viga exemplo 1, nas quais varia-se a largura da viga. O carregamento da viga exemplo 3 será composto por uma carga uniformemente distribuída que será variada. No caso da viga exemplo 4, o carregamento é constituído por uma carga uniformemente distribuída constante e por duas cargas concentradas que foram variadas.

Com os valores encontrados foram gerados diversos gráficos, primeiramente foram gerados gráficos idênticos aos dos exemplos 1 e 2, para as diversas resistências características a compressão do concreto e cargas estudadas, da análise destes gráficos constata-se novamente que o valor da armadura transversal necessária sofre redução com o aumento do valor do f_{ck} . Além disso, o modelo II é mais econômico que o modelo I, até uma inclinação da biela comprimida compreendida entre 38° e 41°.

Com base nos resultados obtidos para o exemplo 3, quando este foi processado para uma viga com base de 15 cm, carregamento variando entre 20 kN/m e 50 kN/m e com a resistência do concreto variando entre 20 MPa e 50 MPa, traçou-se o gráfico da figura 4. Nesse diagrama, relaciona-se a inclinação da biela de compressão do modelo II, que fornece um valor de armadura transversal aproximadamente igual ao valor obtido no modelo I, com a resistência característica do concreto, para os diferentes valores da carga aplicada. Esse diagrama representa, ainda, o fator econômico, ou seja, a inclinação da biela em que os modelos I e II apresentam a mesma quantidade de armadura transversal.

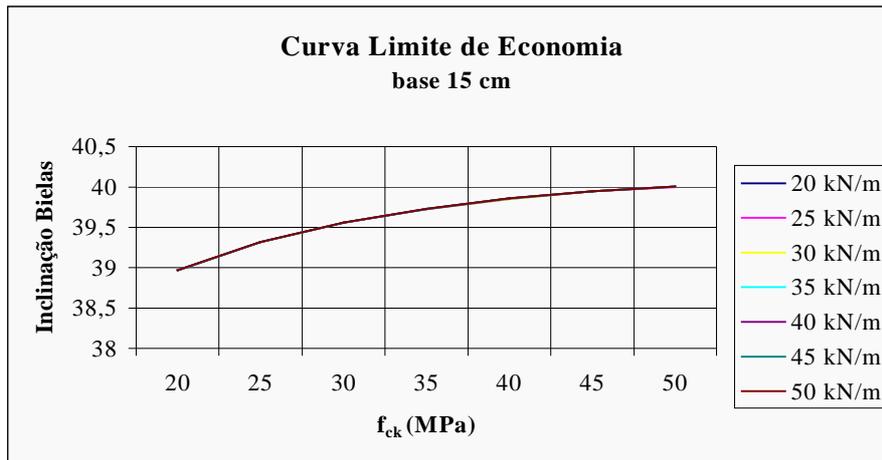


Figura 4 - Gráfico Curva Limite de Economia da Viga 03 – base 15 cm. (SEELBACH (2004))

No diagrama da figura 4, observa-se que, para os diferentes carregamentos, a inclinação da biela onde ocorre a inversão do fator econômico, sofre pouca variação, fazendo com que as curvas relativas aos diversos carregamentos praticamente coincidam. Observa-se ainda que, conforme se aumenta o f_{ck} , ocorre uma mudança na inclinação da biela comprimida onde os modelos I e II fornecem a mesma quantidade de armadura transversal.

Ao realizar-se o mesmo estudo alterando-se, porém, a seção da viga entre os valores 20x60, 25x60, 30x60 e 35x60; observa-se um comportamento idêntico ao obtido na viga com seção 15x60, conforme pode ser observado em Seelbach (2004).

Fazendo-se a comparação entre as diversas curvas limite de economia apresentadas por Seelbach (2004), em função das diversas bases adotadas, observa-se que todas apresentam um mesmo padrão de comportamento. A inclinação aumenta com o incremento do valor do f_{ck} e o valor destas inclinações varia muito pouco também entre os diversos carregamentos aplicados. Isso pode ser constatado nos diagramas da figura 5, nos quais traçaram-se os gráficos de curva limite de economia, para carregamentos fixos da viga com bases diferentes, onde as curvas mais uma vez praticamente coincidem.

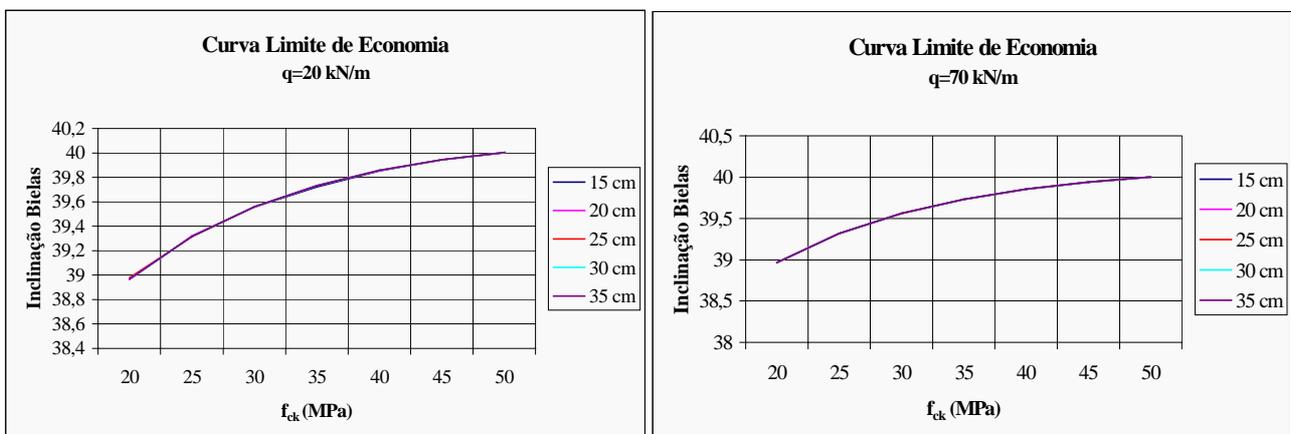


Figura 5 - Gráfico Curva Limite de Economia da Viga 03. (SEELBACH (2004))

Durante a realização dos estudos da viga exemplo 4, obteve-se resultados diferentes, conforme pode ser observado na figura 6. Observa-se que para as primeiras inclinações da biela comprimida, não existe valor de armadura transversal, isto se deve ao fato de

que, neste intervalo a força cortante solicitante de cálculo é superior à força resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto, fazendo com que o dimensionamento não seja possível neste intervalo. Além disso, observa-se que após este intervalo de inclinação o comportamento dos modelos é idêntico aos demais casos analisados.

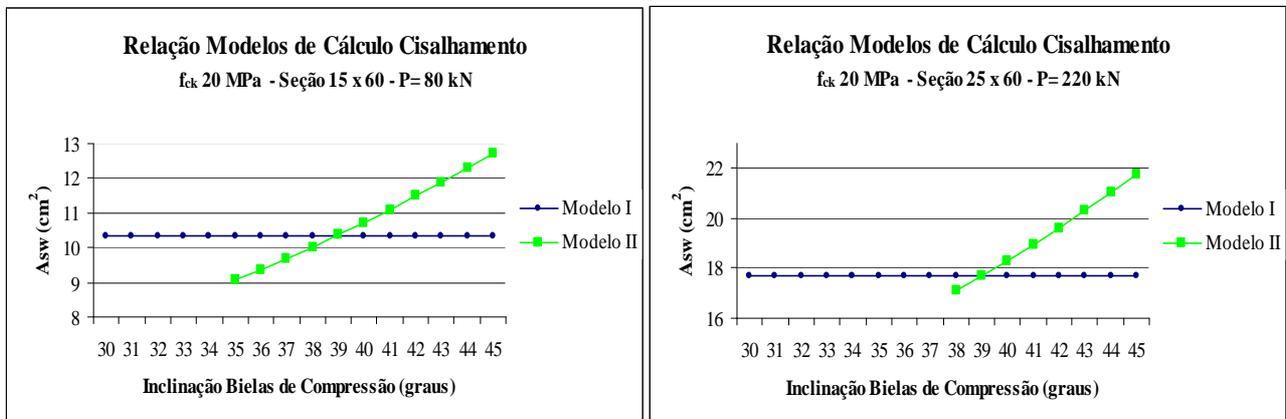


Figura 6 - Gráfico Curva Limite de Economia da Viga 04. (SEELBACH (2004))

Constata-se também, que ao traçarem-se gráficos da curva limite de economia com os valores encontrados para a viga exemplo 4, obtém-se o mesmo comportamento observado na viga anterior. A inclinação aumenta com o incremento do valor do f_{ck} e que o valor destas inclinações varia muito pouco entre os diversos carregamentos aplicados.

5 Conclusões.

Do estudo dos Modelos de Cálculo do Cisalhamento, pôde-se constatar que na grande maioria dos casos o modelo mais econômico é o modelo II, com inclinação da biela comprimida igual a 30° . Verificou-se também que, o modelo I torna-se mais econômico do que o modelo II, quando se utiliza uma inclinação de biela comprimida compreendida aproximadamente entre 39° e 40° . Inclinação esta que é influenciada diretamente pela resistência característica do concreto.

Constatou-se ainda que, com a ruptura da biela comprimida nas primeiras inclinações, a partir das inclinações que passam a oferecer resistência suficiente às bielas, estas apresentam o mesmo comportamento observado no outro caso.

Em virtude dos resultados obtidos, recomenda-se que no dimensionamento de armaduras transversais referentes ao cisalhamento, adote-se o Modelo de Cálculo II, com a menor inclinação da biela comprimida possível. No caso desta estar próxima à 39° , deve-se realizar uma verificação do valor obtido com o Modelo de Cálculo I, para obter-se o dimensionamento mais econômico possível.

6 Referências

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118/2003, Projeto de Estruturas de Concreto.**

SEELBACH, L.C. **Estudos Sobre Detalhamento Automático de Vigas de Concreto Armado.** Dissertação de Mestrado em Engenharia, Florianópolis: PPGE/UFSC, 2004.

7 Bibliografia.

CARVALHO, Roberto Chust & FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: Segundo a NBR-6118 (NB1/80) e a proposta de 1999 (NB1/99).** São Carlos, EdUFSCar, 2001.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Técnica de Armar as Estruturas de Concreto.** São Paulo, Pini, 1995.

Instituto Brasileiro do Concreto. **Prática recomendada IBRACON: comentários técnicos NB-1.** São Paulo, IBRACON, 2003.

SILVA, Reginaldo Carneiro da & GIONGO, José Samuel . **Modelos de Bielas e Tirantes Aplicados a Estruturas de Concreto Armado.** São Paulo, EESC-USP, 2000.