



ECONOMIA DE AÇO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DOIS MODELOS DE CÁLCULO¹

HAMMES, Djulia¹; RODRIGUES, Paulo Cesar²

Resumo: Um dos sistemas construtivos mais utilizados no Brasil é o concreto armado – conjunto estabelecido entre concreto e aço. Diante da grande demanda pelo aço e de seu elevado custo, o presente trabalho objetivou realizar um estudo que promova economia em uma das etapas da construção de uma edificação: o dimensionamento da estrutura. Para tanto, realizou-se uma análise comparativa entre dois modelos de cálculo descritos pela NBR 6118/2014, para o dimensionamento da armadura transversal de vigas de concreto armado. O modelo de cálculo I utiliza um ângulo de inclinação das bielas de compressão fixado em 45°, enquanto o modelo de cálculo II admite um ângulo que varia de 30° a 45°. A metodologia estabeleceu-se em diferentes etapas: pesquisa bibliográfica, elaboração de uma planta de forma de uma edificação, análise dos modelos de cálculo, realização dos cálculos de dimensionamento da armadura transversal pelos modelos I e II, quantificação dos resultados obtidos e confecção de gráficos comparativos - ilustrando o consumo de aço para cada modelo. O estudo demonstrou que, ao ser utilizado o ângulo de 30° o Modelo II é mais econômico se comparado com o Modelo I – em todas as vigas do pavimento. No entanto, ao aplicar o ângulo de 45° em ambos os modelos, o Modelo I demonstrou ser mais econômico. Também constatou-se que a mudança de consumo de aço do Modelo II varia de forma crescente conforme o ângulo aumenta. Diante do exposto, é possível apresentar dados que permitem uma redução significativa do custo final das obras.

Palavras-Chave: Armadura transversal. Vigas de concreto armado. Modelo de cálculo. Economia no consumo de aço.

Abstract: One of the most used construction systems in Brazil is the reinforced concrete - set established between concrete and steel. Faced with the great demand for steel and its high cost, the present work aimed to carry out a study that promotes economy in one of the stages of the construction of a building: the design of the structure. For this, a comparative analysis was performed between two calculation models described by NBR 6118/2014, for the dimensioning of the transverse reinforcement of reinforced concrete beams. The calculation model I uses an angle of inclination of the compression rods set at 45 °, while the calculation model II admits an angle ranging from 30° to 45°. The methodology was established in different stages: bibliographical research, elaboration of a plan of a building form, analysis of the calculation models, realization of cross-sectional dimensioning calculations for the I and II models, quantification of the obtained results and creation of graphs Comparative - illustrating the consumption of steel for each model. The study showed that when using the 30° angle

¹ Projeto de Pesquisa financiado pelo programa PIBIC/UNICRUZ no período 2016/2017, intitulado “Dimensionamento da armadura transversal de vigas de concreto armado, pela NBR 6118/2014”.

² Autora, acadêmica do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Cruz Alta - UNICRUZ, bolsista do PIBIC/UNICRUZ no período 2016/2017 e integrante do Grupo de Pesquisa GPARq. E-mail: dju.hammes@hotmail.com

³ Autor, Professor Mestre do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Cruz Alta - UNICRUZ e Orientador da Pesquisa PIBIC/UNICRUZ. E-mail: pacerro@unicruz.edu.br



theModel II is more economical if compared to Model I - in all the beams of the pavement. However, when applying the 45° angle in both models, Model I proved to be more economical. It was also found that the change in steel consumption of Model II varies more and more as the angle increases. Given the above, it is possible to present data that allow a significant reduction of the final cost of the works.

Keywords: Transverse reinforcement. Reinforced concrete beams. Calculation model. Saving on steel consumption.

INTRODUÇÃO

O contexto econômico está sempre em questão dentro da construção civil. Em meio ao grande crescimento dessa atividade no país, surge a necessidade de economia em todas as suas etapas: na compra de materiais, no consumo de insumos, no custo da mão de obra, bem como no dimensionamento da estrutura – tudo isso, para que também haja redução do desperdício (SILVA, 2012).

Segundo Santos (2008), dentre os variados sistemas construtivos conhecidos no Brasil, o mais utilizado na grande maioria das construções é o denominado de concreto armado. De acordo com Steffen *et al* (1982), o concreto armado é um conjunto constituído por concreto e aço: o concreto apresenta boa resistência à compressão mas, quando combinado com barras de aço, resulta em um conjunto que apresenta também boa resistência à tração.

Conforme Steffen *et al* (1982), um dos elementos estruturais mais comumente encontrados nas construções são as vigas. Estas, por sua vez, têm a função de receber cargas verticais e transmiti-las de forma horizontal para os elementos de apoio: paredes e pilares. Diante disso, elas permitem a construção de vãos livres entre estes apoios.

Botelho (2000) afirma que a ligação entre as barras que sustentam as vigas de concreto armado é feita por meio de barras de aço de pequeno diâmetro conhecidas como estribos. Este sistema dá uma rigidez maior à construção, impedindo a instabilidade das barras (flambagem das barras).

Percebe-se que o custo do aço é extremamente relevante em uma obra de concreto armado. Diante disso, Ramos *et al* (2009) afirma que a grande demanda por este material torna imprescindível o conhecimento de teorias e conceitos da engenharia que busquem alcançar o aperfeiçoamento e a economia nos projetos estruturais.



Neste contexto, o presente trabalho objetivou realizar um estudo que englobe uma forma de economia em uma das etapas mais importantes da construção de uma edificação: o dimensionamento da estrutura. Para isso, foram analisados e comparados dois modelos de cálculo propostos pela NBR 6118/2014 - para dimensionamento de armadura transversal de vigas (estribos). A partir dos dados alcançados, será possível realizar o dimensionamento de vigas e apresentar análises do consumo de aço em cada modelo de cálculo - com o intuito de possibilitar uma redução considerável do custo final da obra.

METODOLOGIA

O desenvolvimento desse estudo baseou-se em quatro etapas primordiais. Inicialmente, realizou-se uma completa pesquisa bibliográfica dos trabalhos já publicados sobre concreto armado e armadura transversal de vigas, utilizando-se de livros, artigos, normativas pertinentes e materiais disponibilizados nos meios eletrônicos. Em um segundo momento, elaborou-se uma planta de forma de uma edificação de médio porte, seguida da análise dos dois modelos de cálculo especificados na NBR 6118 (ABNT, 2014), necessários para o dimensionamento de vigas.

Já na terceira etapa, iniciou-se a realização dos cálculos de dimensionamento da armadura transversal pelos modelos I e II. Este processo permitiu a verificação de área de aço para cada um dos métodos. Por conseguinte, a quarta etapa apresenta a quantificação dos resultados obtidos, seguida da confecção de gráficos comparativos que ilustram o custo e também o consumo de aço (em quilogramas), que cada modelo gastou para as vigas do pavimento adotado.

MODELOS DE CÁLCULO

Conforme expresso na NBR 6118 (ABNT, 2014), os dois modelos de cálculo propostos pela normativa apresentam a resistência da peça assegurada pela verificação da compressão diagonal do concreto, bem como pelo cálculo da armadura transversal. Os dois modelos apresentam roteiros semelhantes, porém cada um possui cálculos distintos. A diferenciação entre os dos dois modelos será descrita a seguir.

Modelo de Cálculo I



De acordo com a NBR 6118/2014, o modelo de cálculo I é mais simplificado e apresenta a parcela de esforço cortante absorvida por mecanismos complementares ao de treliça constante. Além disso, adota diagonais comprimidas de concreto – também conhecidas como bielas de compressão – com uma inclinação do ângulo teta (θ) de 45° em relação ao eixo longitudinal da peça. A normativa estabelece ainda que a parcela complementar V_c tem valor constante, independentemente do esforço cortante solicitante de cálculo V_{sd} .

Os cálculos baseados no Modelo I seguiram o seguinte roteiro programático: 1. Verificação da compressão nas bielas; 2. Cálculo da Armadura Transversal. Ambos os conjuntos de cálculos são descritos a seguir:

a) **Verificação da compressão nas bielas**

De acordo com Rodrigues (2013), a resistência do elemento estrutural, em uma determinada seção transversal, deve ser considerada satisfatória somente quando verificada a seguinte condição:

Equação 1 – Cálculo de verificação da resistência da força cortante (compressão das

$$V_{sd} \leq V_{Rd2}$$

A força cortante de cálculo (V_{sd}) é expressa em unidade quilonewton (kN) e calculada pela equação seguinte, sendo γ_f o coeficiente de majoração equivalente a 1,4 e V_d a força cortante característica.

Equação 2 – Força Cortante de Cálculo (V_{sd}).

$$V_{sd} = \gamma_f \cdot V_d$$

Já V_{Rd2} é força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto. Entra-se com f_{ck} em unidade megapascal (Mpa) e obtém-se V_{Rd2} em unidade quilonewton (kN) através da seguinte expressão:

Equação 3 – Força Cortante Resistente de Cálculo (V_{rd2}).

$$V_{Rd2} = 0,27 \cdot 1 - f_{ck}/250 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$



Nesta equação, b_w é a menor largura da seção, compreendida ao longo da altura útil d . O d é a altura útil da seção, igual à distância da borda comprimida ao centro de gravidade da armadura de tração. Posteriormente, realiza-se um comparativo entre os valores obtidos em V_{sd} e em V_{Rd2} :

Se $V_{sd} \leq V_{Rd2}$ \longrightarrow Não haverá esmagamento das bielas de compressão.

b) Cálculo da Armadura Transversal

Seguindo as resoluções do autor, a equação a seguir é obtida para a determinação da armadura mínima, que é necessária ser utilizada para a viga.

Equação 4 – Força Cortante da Armadura Mínima.

$$V_{sd, \min} = 0,0137 \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

Entra-se com f_{ck} em unidade megapascal (Mpa) e obtém $V_{sd, \min}$ em unidade quilonewton (kN). Para Rodrigues (2013), o valor obtido na equação de $V_{sd, \min}$ deve ser comparado com a força solicitante de cálculo V_{sd} calculada anteriormente, para que se obtenha a seguinte verificação:

- Se for obtido $V_{sd} \leq V_{sd, \min}$: utiliza-se armadura transversal mínima $A_{sw, \min}$.
- Se for obtido $V_{sd} > V_{sd, \min}$: calcula-se a armadura transversal A_{sw} para V_{sd} .

b.1) Caso em que:

$V_{sd} \leq V_{sd, \min}$, utiliza-se armadura transversal mínima $A_{sw, \min}$ e calcula-se a seguinte equação:

Equação 5 – Armadura Transversal Mínima.

$$A_{sw, \min} = \rho_{sw, \min} \cdot b_w$$

b.2) Caso em que:



$V_{sd} > V_{sd, \min}$, calcula-se a armadura transversal A_{sw} para V_{sd} com a seguinte equação:

Equação 6 – Armadura Transversal Mínima.

$$V_{sw} = V_{sd} - V_c$$

O cálculo de V_c é obtido a partir da seguinte equação:

Equação 7 – Força Cortante Absorvida.

$$V_c = 0,6 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$$

Entra-se com f_{ctd} em unidade quilonewton por centímetro quadrado (kN/cm²) e obtém-se V_c em unidade quilonewton (kN). Já o valor de f_{ctd} é obtido a partir da equação:

Equação 8 – Valor de cálculo da resistência à tração do concreto.

$$f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}}{\gamma_c}$$

Para uma inclinação dos estribos de 90° - também chamados de estribos verticais -, a armadura transversal por unidade de comprimento de uma viga de concreto armado pode ser calculada através da seguinte equação, com o resultado obtido em centímetros quadrados por metro (cm²/ m):

Equação 9 – Cálculo da armadura transversal (cm²/m) para estribos verticais.

$$\frac{A_{sw,90^\circ}}{s} = \frac{V_{sw}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}}$$

Modelo de Cálculo II

De acordo com a NBR 6118/2014, se comparado ao Modelo I, o Modelo de Cálculo II apresenta uma parcela inferior de esforço cortante absorvida por mecanismos complementares



ao de treliça. Além disso, este modelo admite diagonais de compressão inclinadas em relação ao eixo longitudinal do elemento estrutural, com o ângulo teta (θ) podendo variar livremente entre 30° e 45° , ou seja, $30^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$. A normativa estabelece ainda que a parcela complementar V_c sofra redução de acordo com o aumento de V_{sd} .

Os cálculos baseados no Modelo II seguiram o mesmo roteiro programático do Modelo de Cálculo I: 1. Verificação da compressão nas bielas; 2. Cálculo da Armadura Transversal. Ambos os conjuntos de cálculos são descritos a seguir:

a) Verificação da compressão nas bielas:

Assim como no Modelo I, no Modelo II a resistência do elemento estrutural deve ser considerada satisfatória somente quando verificada a seguinte condição:

Equação 10 – Cálculo de verificação da resistência da força cortante (compressão das diagonais).

$$V_{sd} \leq V_{Rd2}$$

A força cortante de cálculo (V_{sd}) em unidade quilonewton (kN) é calculada por meio da expressão seguinte, na qual V_d é a força cortante característica e $\gamma_f = 1,4$ é o coeficiente de majoração.

Equação 11 – Força Cortante de Cálculo (V_{sd}).

$$V_{sd} = \gamma_f \cdot V_d$$

Já V_{Rd2} é força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto. Entra-se com f_{ck} em unidade megapascal (Mpa), f_{cd} em unidade quilonewton por centímetro cúbico (kN/cm^3) e obtém V_{Rd2} em unidade quilonewton (kN).

Equação 12 – Força Cortante Resistente de Cálculo (V_{Rd2}).

$$V_{Rd2} = 0,54 \cdot 1 - f_{ck}/250 \cdot f_{cd} \cdot bw \cdot d \cdot \text{sen}^2 \theta \cdot (\text{cotg } \alpha + \text{cotg } \theta)$$



Posteriormente, realiza-se um comparativo entre os valores obtidos em V_{sd} e em V_{Rd2} :

Se $V_{sd} \leq V_{Rd2} \rightarrow$ Não haverá esmagamento das bielas de compressão.

b) Cálculo da Armadura Transversal:

Equação 13 – Força Cortante da Armadura Mínima.

$$V_{sd, \min} = V_{c1} + 0,0047 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2 \cdot b_w \cdot d \cdot b_w \cdot d \cdot \cotg \theta}$$

Entra com f_{ck} em unidade megapascal (Mpa) e obtém $V_{sd, \min}$ em unidade quilonewton (kN). Os cálculos de V_{co} e V_{c1} podem ser obtidos, respectivamente, através das seguintes equações:

Equação 14 – Força Cortante Absorvida.

$$V_{co} = 0,6 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$$

Equação 15 – Força Cortante Absorvida - quando $V_{sd} \geq V_{co}$.

$$V_{c1} = V_{co} \cdot \frac{V_{Rd2} - V_{sd}}{V_{Rd2} - V_{co}}$$

Entra-se com f_{ctd} em unidade quilonewton por centímetro quadrado (kN/cm²), obtém V_{co} e V_{c1} em unidade quilonewton (kN). Comparando-se o valor obtido na equação de $V_{sd, \min}$ com a força solicitante de cálculo V_{sd} calculada anteriormente, obtém-se a seguinte verificação:

- Se for obtido $V_{sd} \leq V_{sd, \min}$: utiliza-se armadura transversal mínima $A_{sw, \min}$.
- Se for obtido $V_{sd} > V_{sd, \min}$: calcula-se a armadura transversal A_{sw} para V_{sd} .



b.1) Caso em que:

$V_{sd} \leq V_{sd, \min}$, utiliza-se armadura transversal mínima $A_{sw, \min}$ calculada através da seguinte expressão:

Equação 16 – Armadura Transversal Mínima.

$$A_{sw, \min} = \rho_{sw, \min} \cdot b_w$$

b.2) Caso em que:

$V_{sd} > V_{sd, \min}$, calcula-se a armadura transversal A_{sw} para V_{sd} . O valor de V_{sw} , que é a parcela de força cortante a ser resistida pela armadura, é calculado pela seguinte equação:

Equação 17 – Parcela da força cortante a ser resistida pela armadura transversal.

$$V_{sw} = V_{sd} - V_c, \text{ sendo } V_c = V_{c1}$$

A armadura transversal por unidade de comprimento de uma viga de concreto armado pode ser calculada através da seguinte equação, com o resultado obtido em centímetros quadrados por metro (cm^2/m):

Equação 18 – Área de todos os ramos verticais dos estribos.

$$\frac{A_{sw, \alpha}}{s} = \frac{V_{sw}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd} \cdot (\cotg \theta + \cotg \alpha) \cdot \text{sen } \alpha}$$

Disposições Construtivas

De acordo com a NBR 6118/2014, o diâmetro da barra que constitui o estribo deve ser maior ou igual a 5 mm, sem exceder um décimo (1/10) da largura da alma da viga (b_w).

Determina-se o diâmetro \emptyset_t dos estribos através da seguinte forma:

Equação 19 – Diâmetro \emptyset_t dos estribos.

$$5,0 \text{ mm} \leq \emptyset_t \leq b_w / 10$$



Espaçamento mínimo e máximo

O espaçamento mínimo entre estribos deve ser suficiente para permitir a passagem do vibrador, garantindo um bom adensamento da massa de concreto. O espaçamento máximo, por sua vez, deve atender às seguintes condições:

- Se $V_{sd} \leq 0,67 \cdot V_{Rd2}$, então $S_{m\acute{a}x} = 0,6 d \leq 30$ cm;
- Se $V_{sd} > 0,67 \cdot V_{Rd2}$, então $S_{m\acute{a}x} = 0,3 d \leq 20$ cm.

Ancoragem e Emendas do Estribo

Os ganchos dos estribos podem ser: semicirculares ou em ângulo de 45° (interno), ou ainda em ângulo reto. As emendas por transpasse são permitidas apenas quando os estribos forem constituídos por telas ou por barras de alta aderência.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objeto de estudo desta pesquisa trata-se de uma planta de forma de uma edificação de médio porte, elaborada a partir de uma morfologia simétrica. Seus pavimentos apresentam uma área de 194,02 m², e caracterizam-se por conter elementos estruturais simples: vigas retangulares, de cargas uniformemente distribuídas ao longo dos seus eixos.

Os dois modelos de cálculo descritos pela NBR 6118/2014 foram aplicados exclusivamente para o pavimento tipo da edificação. Este pavimento apresenta nove vigas bi apoiadas e contínuas - ambas utilizadas na execução do dimensionamento da armadura transversal (estribos).

A principal diferença verificada entre os modelos de cálculo I e II propostos na normativa, é a consideração de um ângulo comprimido constante e igual a 45 graus no modelo I, e a variação deste ângulo entre 30 e 45 graus no modelo II. Além disso, constatou-se que ambos os modelos seguem o mesmo roteiro para o cálculo da armadura transversal: verificação da diagonal comprimida de concreto, cálculo da armadura transversal, e posterior cálculo da força cortante correspondente à armadura transversal.

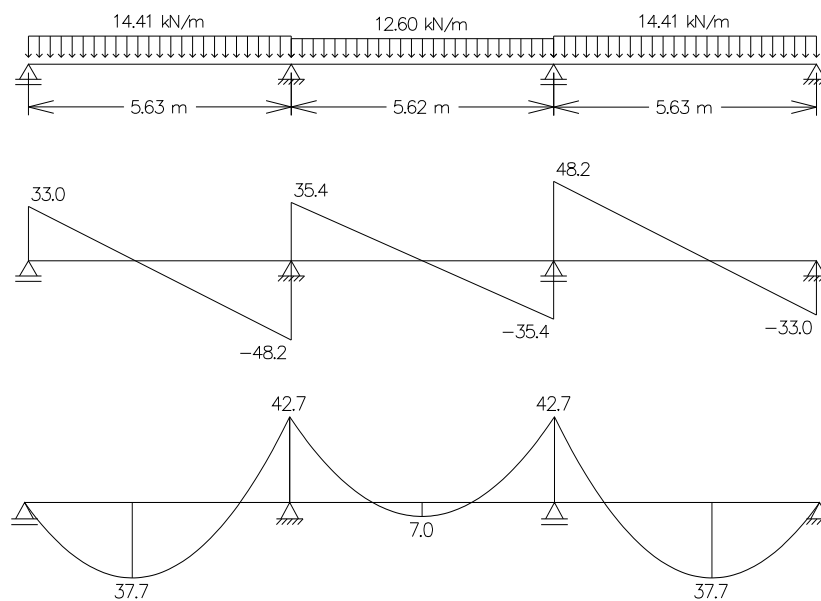
Primeiramente, realizou-se um pré-dimensionamento das vigas presentes na planta de forma, no qual foram encontradas as alturas de cálculo de acordo com as dimensões de cada



viga, seguidas da atribuição de alturas para cada uma delas. Do total de nove vigas, apenas as vigas 3 e 4 receberam altura de 40 centímetros. Para as demais, adotou-se a altura de 40 centímetros. Esta especificação permitirá a obtenção de resultados satisfatórios para a pesquisa em questão.

A partir dos resultados obtidos para os esforços nas vigas, foram lançadas no programa Ftool as cargas em quilonewton por metro (kN/m) para cada viga, obtendo-se assim o modelo estrutural do elemento, as reações de apoio, os diagramas de momento fletor e os esforços cortantes. A Figura 01 demonstra especificamente as vigas de número 1 e 5, exemplificando as dimensões e diagramas que foram elaborados para cada uma das nove vigas do projeto.

Figura 1 - VIGA 1 e 5: Modelo Estrutural, Diagrama de Esforço Cortante e Diagrama de Momento Fletor.



Fonte: elaborado pelos autores, 2016.

Com a aplicação das equações ao longo da realização dos cálculos de estribos, foi possível obter os valores referentes às áreas de armadura transversal para cada um dos modelos I e II. Para obter resultados mais satisfatórios para com o Modelo de Cálculo II, foram desenvolvidos cálculos com ângulos de 30°, 35°, 40° e 45° para cada viga do pavimento tipo adotado.

Para representar os resultados obtidos no Modelo de Cálculo I lançou-se a Tabela 01, que apresenta a área da armadura, em centímetros quadrados por metro (cm²/m), para cada trecho das vigas do pavimento tipo. De modo a facilitar a demonstração em tabela, apresentou-



se as vigas bi apoiadas de forma simples e utilizou-se a divisão em trechos para as vigas contínuas. Para cada trecho, obteve-se valores para A_{sw} A, A_{sw} B e $A_{sw,min}$.

Tabela 1 - Armadura Transversal – Modelo de Cálculo I (valores em cm^2/m).

Viga	Trecho 1			Trecho 2			Trecho 3		
	A_{sw} A	A_{sw} B	$A_{sw,min}$	A_{sw} A	A_{sw} B	$A_{sw,min}$	A_{sw} A	A_{sw} B	$A_{sw,min}$
Viga 1 = Viga 5	1,24	2,21	1,24	1,08	1,08	1,24	1,24	2,21	1,24
Viga 2	3,67	3,67	1,06	-	-	-	-	-	-
Viga 3 = Viga 4	5,76	5,76	1,06	-	-	-	-	-	-
Viga 6 = Viga 9	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	-	-	-
Viga 7 = Viga 8	4,62	0,47	1,06	5,90	1,06	1,06	-	-	-

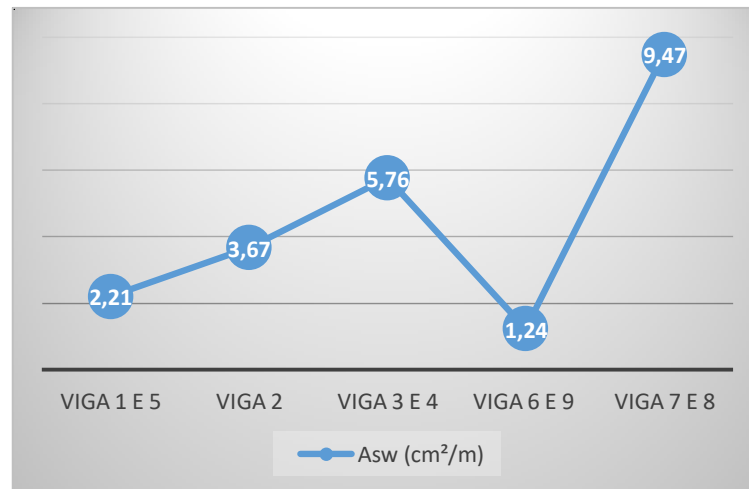
Fonte: elaborado pelos autores, 2016.

Analisando a Tabela 01, observa-se que as vigas 2, 3 e 4 apresentam apenas um trecho - pois são vigas bi apoiadas, com apenas um vão – e possuem uma armadura um pouco mais densa que as demais. No entanto, apresentam armadura mínima menor que as demais pois suas larguras são de apenas 12 cm, enquanto as demais são de 14 cm. Verifica-se também que as vigas 1 e 5 apresentam uma armadura transversal menos densa do que as demais – possibilitando a utilização da armadura mínima na maioria de seus trechos. Já as vigas 7 e 8 apresentam armadura bem mais densa devido aos vãos entre os apoios serem maiores.

Para que fosse possível quantificar os resultados obtidos, fez-se uso de recursos gráficos do programa Excel para comparar as áreas de aço dimensionadas para os estribos do Modelo I e posteriormente também para os resultados referentes aos quatro ângulos do Modelo II. A Figura 02 demonstra o comparativo entre a área de armadura nas diferentes vigas, representando o A_{sw} máximo em cada uma delas, em cm^2/m .



Figura 2 - Área de Armadura nas Vigas – Modelo I



Fonte: elaborado pelos autores, 2016.

Tabela 2 - Armadura Transversal máxima para cada trecho – Modelo de Cálculo II
(valores em cm²/m).

Viga	$\theta = 30^\circ$			$\theta = 35^\circ$			$\theta = 40^\circ$			$\theta = 45^\circ$		
	cho 1	cho 2	cho 3	cho 1	cho 2	cho 3	cho 1	cho 2	cho 3	cho 1	cho 2	cho 3
-												
Viga z1 = Viga 5	38	24	38	64	24	64	95	24	95	31	24	1
Viga 2	71	-	-	20	-	-	82	-	-	52	-	
Viga 3 = Viga 4	25	-	-	02	-	-	99	-	-	09	-	
Viga 6 = Viga 9	24	24	-	24	24	-	24	24	-	24	24	
Viga 7 = Viga 8	99	35	-	27	15	-	86	13	-	,66	28	

Fonte: elaborado pelos autores, 2016.

Para representar a área de armadura calculada a partir do Modelo de Cálculo II foram utilizados somente os maiores valores obtidos em A_{sw} , em cm²/m, para cada trecho das vigas – valores estes descritos na Tabela 02. Conforme explicitado anteriormente, este método de cálculo permite a variação do ângulo de inclinação das bielas entre 30° e 45°. Para tanto, calculou-se a armadura transversal por 4 ângulos diferentes para cada uma das 9 vigas.

Analisando a Tabela 02, verifica-se que a área da armadura transversal do esforço cortante aumenta – em todas as vigas - na medida em que o ângulo de inclinação utilizado também aumenta. Pode-se afirmar que o ângulo de 30° apresenta armadura menos densa se comparado ao ângulo de 35°, e assim sucessivamente. As vigas 6 e 9 destacam-se por não

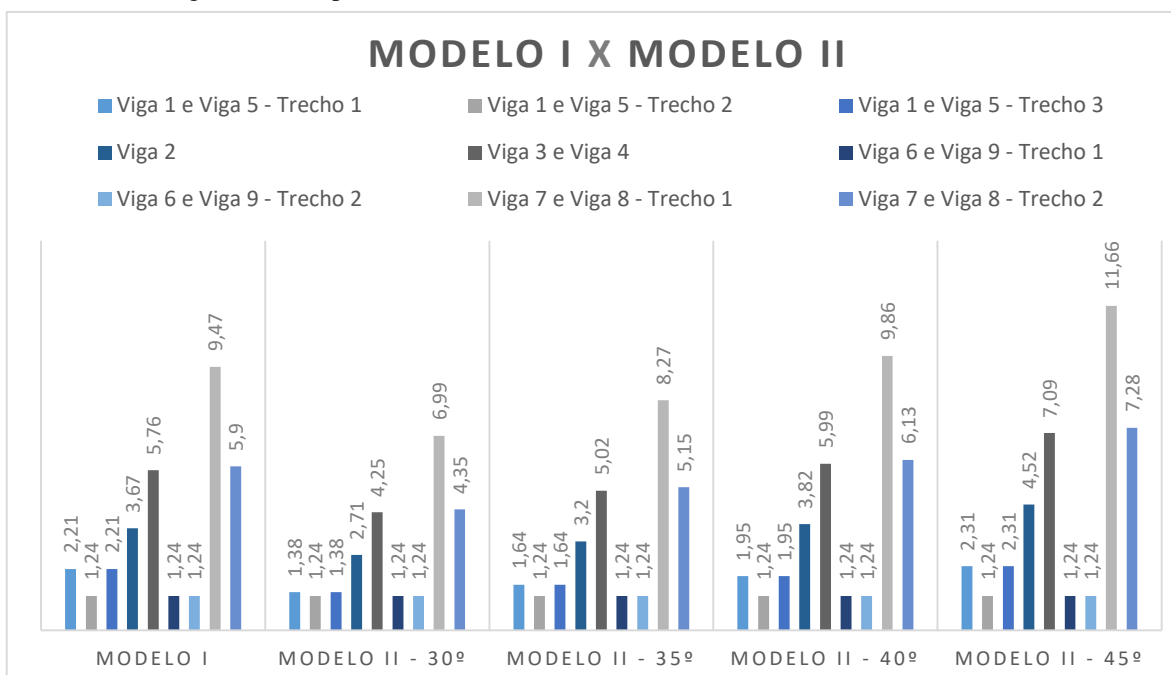


apresentarem este aumento: ambas possuem cargas de pequenas expressões – fator que possibilita a utilização da armadura transversal mínima $A_{sw, \min}$ e, conseqüentemente, resulta em uma área de aço menor e sem o aumento progressivo identificado nas demais vigas.

A Figura 03, por sua vez, apresenta um gráfico comparativo entre os dois modelos de cálculo, para as áreas de aço dos estribos das nove vigas do projeto. Diante dessa comparação, verifica-se que para os ângulos de 30° e 35° o Modelo de Cálculo II consome menos armadura se comparado com os resultados obtidos no Modelo I. Já para os ângulos de 40° e 45°, o Modelo II apresenta um consumo de armadura mais elevado em comparação com o Modelo I. Esta característica pode ser constatada na maioria das vigas avaliadas.

Diante da análise dos gráficos gerados e de todos os resultados obtidos, pode-se verificar que o Modelo II com ângulo de inclinação de 30° caracterizou-se como sendo o mais econômico no que se refere ao consumo de aço para o pavimento estudado. Ao analisar o gráfico comparativo entre todos os modelos de cálculo, verifica-se ainda que o consumo resultante dos cálculos originados pelo Modelo I - o qual utiliza um ângulo de inclinação das bielas de 45° - resultaram em valores divergentes do consumo obtido pelos cálculos realizados pelo Modelo II (que apresenta o mesmo ângulo de inclinação).

Figura 3 - Comparativo de A_{sw} entre os modelos de cálculo I e II (valores em cm^2/m).



Fonte: elaborado pelos autores, 2016.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da completa análise bibliográfica realizada, bem como do estudo comparativo entre os dois modelos de cálculo, foi possível verificar que o Modelo de Cálculo I é mais simples se comparado com o Modelo II. Destaca-se a principal diferença entre os dois modelos: o ângulo das bielas comprimidas – que é fixado em 45° no Modelo I e no Modelo II pode variar de 30° à 45°.

Pode-se concluir que quando se utiliza estribos verticais e um ângulo de bielas de compressão de 45°, o Modelo I torna-se uma simplificação do Modelo II. No entanto, quando emprega-se o ângulo de 45° nos cálculos do Modelo II as áreas de armaduras originadas nos resultados são diferentes para ambos os modelos - resultam em diferentes consumos de aço. Verificou-se também que no Modelo II quanto menor for o ângulo das bielas de compressão, menor também será a área de aço da armadura transversal (Asw). Tal fator revela que o consumo de aço é inversamente proporcional ao ângulo das bielas.

A partir da análise realizada concluiu-se que para o Modelo de Cálculo II a forma mais econômica para o dimensionamento dos estribos de vigas é a utilização do ângulo de inclinação de 30°. O ângulo de inclinação que se torna menos viável economicamente é o ângulo de 45°. Na comparação entre os dois modelos de cálculo, deduziu-se que, quando utilizado um ângulo de 30°, o Modelo II é o mais econômico para dimensionar a armadura transversal de vigas de concreto armado, referente ao consumo de aço.

Ao finalizar o estudo verificou-se a real necessidade de disponibilizar aos profissionais da área de construção civil novos artifícios de economia na construção de edificações. Neste contexto, o presente trabalho possibilitou a apresentação de dados concretos que propiciam uma alternativa para a redução do custo final das obras.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Concreto Armado: eu te amo**. 2ª ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2000.

RAMOS, Alves Luiz et al. **Estudo do Cisalhamento em Vigas de Concreto Armado**. XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação-Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, SP. Univap, 2009.



RODRIGUES, Paulo Cesar. **Estruturas de Concreto Armado I**. 3ª. Ed., Santa Rosa: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande Do Sul, 2013.

STEFFEN, Julio Cezar; TAMAGNA, Alberto. **Prática de sistemas estruturais**. Unisinos, 1982.

SANTOS, Roberto Eustáquio dos. **A Armação do Concreto no Brasil: história da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia**. Belo Horizonte: UFMG, 2008. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Educação. Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

SILVA, Thiago Freitas da. **Contribuição das armaduras de compressão em chapas de concreto armado**. São Paulo: USP, 2012. Dissertação (mestrado) - Escola politécnica. Universidade de São Paulo, 2012.