



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
Faculdade de Engenharia
Engenharia Civil - FAEN

KAIO MANZANO VIEGAS

**VIGA-PAREDE: UMA COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES MÉTODOS
DE DIMENSIONAMENTO**

Dourados - MS
2022

KAIO MANZANO VIEGAS

**VIGA-PAREDE: UMA COMPARAÇÃO ENTRE
DIFERENTES MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora da Universidade Federal da Grande Dourados, como pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Profº André Felipe Aparecido de Mello com área de concentração 3.01.00.00-3 – Engenharia Civil.

**Dourados - MS
2022**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO H – ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 13:30 horas do dia 01 de novembro de 2022, realizou-se no(a) Sala de Reuniões da FAEN (local) a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, intitulado “VIGA-PAREDE: UMA COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO” de autoria do(a) discente Kaio Manzano Viegas, como requisito para a aprovação no componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso II.

Após a defesa e posterior arguição, a banca examinadora concluiu que o Trabalho apresentado deve ser:

Aprovado

Reprovado


O(A) discente(a) declara ciência de que a sua aprovação está condicionada à entrega da versão final (encadernada, corrigida e assinada) do Trabalho de Conclusão de Curso, nos termos em que especifica o regulamento do componente curricular, em anexo ao Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Civil da UFGD. O(A) orientador(a) se responsabilizará pela verificação e aprovação das correções do manuscrito feitas pelo(a) discente(a) para a elaboração da versão final.

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

Atender às orientações da banca.

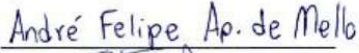
DISCENTE

Nome: Kaio Manzano Viegas

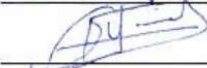
Assinatura: 

BANCA EXAMINADORA

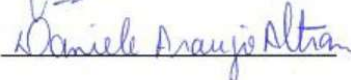
Orientador: André Felipe Aparecido de Mello

Assinatura: 

Membro: Agleison Ramos Omido

Assinatura: 

Membro: Daniele Araujo Altran

Assinatura: 

VIGA-PAREDE: UMA COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO

Kaio Manzano Viegas¹; André Felipe Aparecido de Mello²
kaio.manzano21@gmail.com¹; andremello@ufgd.edu.br²;

RESUMO

O concreto armado é um dos sistemas estruturais mais usados no Brasil. O dimensionamento de estruturas comuns de concreto armado é bem fundamentado na norma, porém, com a necessidade de maiores construções, com maiores cargas e muitas das vezes incompatibilidade no projeto, as soluções encontradas podem exigir mais do que uma estrutura comum pode resistir. Neste trabalho buscou-se comparar dois métodos de dimensionamento para uma mesma estrutura de viga-parede, o Método das Bielas (MB) e o Método Biela-Painel (MBP). O MB divide o elemento estrutural entre bielas que formam uma treliça dentro do elemento, essas bielas podem resistir à tração ou compressão, na área em que o modelo define uma biela de tração uma armadura de aço deve ser dimensionada a fim de resistir aos esforços. O MBP divide o elemento estrutural em bielas e painéis, nesse modelo as bielas resistem a esforços normais e os painéis resistem aos esforços cisalhantes. Modelou-se uma viga-parede para os dois métodos de acordo com a geometria da viga-parede, dimensionou-se as armaduras de acordo com a literatura e verificou-se a segurança com os parâmetros da NBR 6118 (ABNT, 2014). Ao fim constatou-se que o MBP resultou em uma armadura 181,25% maior que o resultado pelo MB para a armadura horizontal secundária e 56,26% maior para a armadura vertical, principalmente pelo MBP demandar mais armadura transversal e armadura longitudinal secundária a fim de resistir aos esforços nos painéis.

Palavras-chave: viga-parede; método Biela-Painel; método das Bielas

ABSTRACT

Reinforced concrete is one of the most used structural systems in Brazil. The design of common reinforced concrete structures is well based on norm, however, with the need of larger constructions, with greater loads and often incompatibility in the project, the solutions found may require more than a common structure can withstand. In this paper, we sought to compare two design method for the same wall-beam structure, the Strut and Tie Method (STM) and the Stringer-Panel Method (SPM). The STM divides the structural element between struts and ties that form a truss inside the element, the ties resist to traction and the struts resist to compression, in the area where the model defines a tie a steel reinforcement must be dimensioned in order to resist the efforts. The SPM divides the structural element in struts and panels, in this model the struts resist to normal stresses and the panel resists shear stresses. A wall-beam was modeled for the two methods according to the geometry of the wall-beam, the reinforcements were dimensioned according to the literature and safety was verified with the parameters of NBR 6118 (ABNT, 2014). In the end, it was found that the SPM resulted in a reinforcement 181.25% greater than the result by the STM for the secondary horizontal reinforcement and 56.26% greater for the vertical reinforcement, mainly because the STM demands more transverse reinforcement and longitudinal reinforcement secondary to in order to resist the stresses on the panels.

Key-words: wall-beam; Stringer-Panel method; Strut and Tie method

1 INTRODUÇÃO

O projeto de uma construção em concreto armado tem diferentes fases, entre elas está o desenvolvimento do projeto estrutural. De modo geral, a Engenharia Civil busca atrelar as necessidades de projeto com os limites dos materiais e estruturas.

Sabe-se que para cada tipo de elemento estrutural existe uma metodologia de dimensionamento que leva em conta as características gerais do elemento, a norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014) a fim de garantir segurança aos projetos traz um conjunto de métodos e verificações com o objetivo de padronizar os projetos.

O desenvolvimento de novos métodos de dimensionamento traz para o projetista ferramentas de otimização principalmente em casos de características específicas, de acordo com Souza (2004) a maioria das estruturas e seus elementos podem ser calculados usando uma simplificação considerando a hipótese de Bernoulli de que a deformação da seção transversal é linear porém há regiões nos elementos em que a simplificação não pode ser aplicada já que a hipótese não é válida pois tensões de cisalhamento significativas causam perturbações que geram deformações não lineares, essas regiões não denominadas “Regiões D” e alguns exemplos são os consolos e as vigas-parede.

Nesse caso, o Método das Bielas (MB) e o Método Biela-Painel (MBP) se mostram como alternativas de dimensionamento. Portanto, nesta pesquisa, buscou-se responder ao seguinte problema: no dimensionamento de uma viga-parede, qual método tem maior consumo de aço, MB ou MBP?

A principal justificativa para o desenvolvimento do presente trabalho está no fato de que um tipo de elemento estrutural que está sujeito a imprecisões em seu dimensionamento poderá ter sua segurança verificada com a aplicação dos métodos descritos, de forma que os próximos que estudarem o assunto terão uma base maior, favorecendo a divulgação e o entendimento sobre o procedimento.

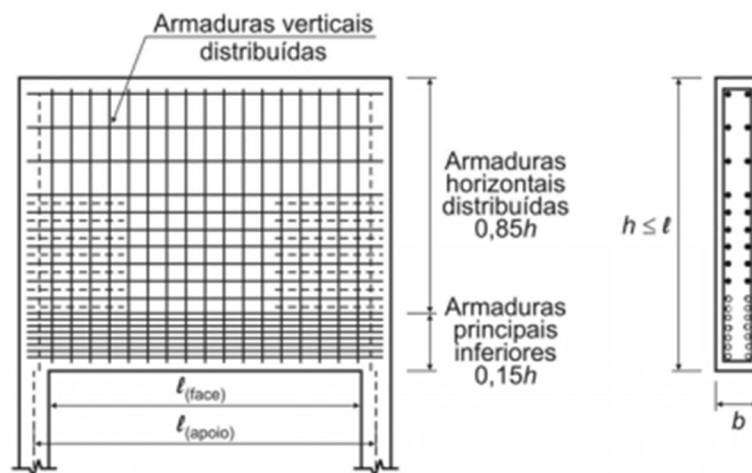
O presente trabalho tem como objetivo dimensionar um modelo de viga-parede com o auxílio do MB e do MBP, aplicar uma rotina de cálculo manual para o dimensionamento e apresentar um comparativo em relação a área de aço de aço obtida entre os métodos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Classificação de vigas-parede de acordo com a NBR 6118 (2014)

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) são consideradas vigas-parede as vigas em que a relação entre seu vão e altura (l/h) é menor que 2, para vigas bi-apoiadas e 3 para vigas contínuas. A norma exige que o modelo de cálculo contemple adequadamente o comportamento estrutural das vigas-parede, que possuem características específicas, como a ineficiência ao cisalhamento em relação às vigas usuais. E de acordo com a norma, quando existem cargas concentradas, aberturas ou alterações na seção transversal, as perturbações causadas devem ser verificadas pois podem influir consideravelmente na resistência do elemento estrutural.

Figura 1 – Armadura típica de viga-parede



Fonte: NBR 6118 (2014).

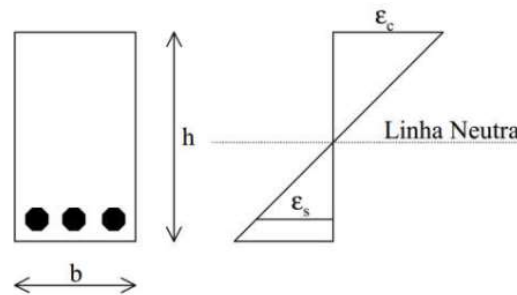
Em relação ao detalhamento da armadura de flexão das vigas-parede, a norma traz que os tirantes de tração não podem ser concentrados em poucas camadas, mas sim em toda a zona tracionada, conforme modelo de cálculo adotado. A Figura 1 mostra como seria uma armadura típica de viga-parede e como a distribuição deve ocorrer em toda a altura da viga. Para vigas bi-apoiadas, a armadura deve ser estendida até os apoios e então ancorada, não podendo ser usados ganchos verticais, dando preferência aos laços e grampos na horizontal.

2.2 Conceito de regiões “B” e “D”

Antes de descrever os métodos de dimensionamento de estruturas de concreto armado se faz necessário entender o conceito de descontinuidade, que está relacionado com a separação da estrutura em zonas de “região B” e zonas de “região D”.

Sobre essa separação, Narciso (2009, p 5.) destaca que “a hipótese de Bernoulli estabelece que: ‘as seções planas perpendiculares ao eixo neutro de uma barra, permanecem planas depois da ocorrência da flexão dessa barra’”.

Figura 2 – Distribuição linear de deformações em uma viga de concreto



Fonte: (Souza, 2004).

Desse modo, facilita-se o dimensionamento de elementos de concreto armado, pois é possível considerar que a distribuição de deformações é linear em toda a altura assim como mostra a Figura 2, bastando ter conhecimento das relações construtivas dos materiais para o cálculo das tensões atuantes no aço e no concreto.

De acordo com Santos e Giongo (2008), as estruturas ou suas regiões podem ser classificadas como regiões contínuas (B) e regiões descontínuas (D).

Souza (2004, apud SCHÄFER, 1988; SCHLAICH, 1991) descreve que as “regiões B” (onde o B vem de Bernoulli ou *beam*) são as regiões onde a hipótese de Bernoulli pode ser considerada, ou seja, a deformação é linear na seção transversal.

Segundo Narciso (2009), as “regiões D” (onde o D vem de *disturb* ou *discontinuity*) tem a distribuição de deformações não linear e são definidas pelo “princípio de Saint Venant”, o qual constata que nas zonas abaixo do ponto de aplicação da carga surgem diferenças significativas de tensão, ou seja, os pontos que estão próximos a aplicação da carga estarão sujeitos a uma tensão muito maior do que pontos mais distantes, não sendo, portanto, adequado aplicar a hipótese de Bernoulli.

De acordo com Narciso (2009), o princípio pode ser considerado nas regiões com geometria irregular, já que as mudanças na geometria comprometem a linearidade da distribuição das deformações.

Narciso (2009) classifica as causas de perturbação como estáticas (se a causa for a aplicação de cargas) e geométricas (se a causa for uma mudança brusca na geometria do elemento).

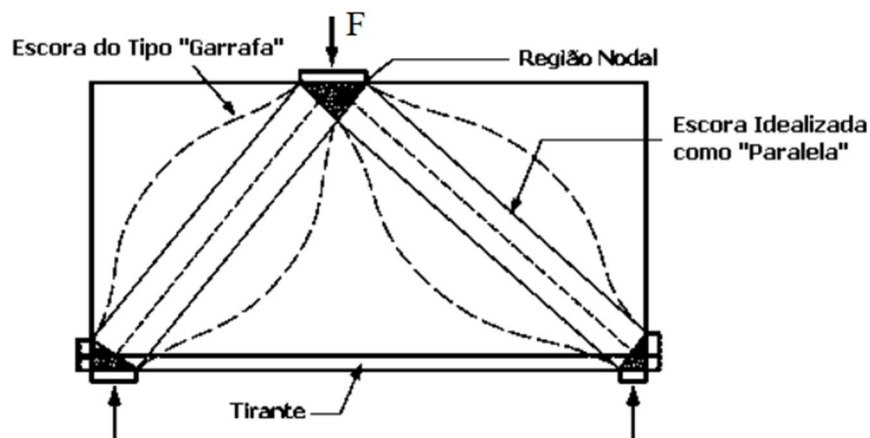
2.3 Método das Bielas (MB)

Segundo Souza (2004) a origem do MB se dá a partir da concepção da Analogia de Treliza por Mörsch (1906), sendo usada até hoje no dimensionamento de vigas de concreto armado à força cortante. À generalização da analogia se dá o nome de Método das Bielas.

Vários pesquisadores como Rusch (1964), Kupfer (1964) e Leonhardt (1965) trabalharam no sentido de melhorar e refinar a Analogia de Treliza, mas o avanço e ampla divulgação aconteceu a partir da década de 1980 quando Schlaich e Schafer (1987) aplicaram esse modelo a outros elementos estruturais como vigas-parede, sapatas e apoios em dente. Também na década de 1980, Marti (1985) propôs a aplicação do modelo ao dimensionamento de armaduras longitudinais e transversais de uma viga.

Segundo Santos e Giongo (2008), no MB, as bielas representam campos de tensão de compressão resistidos pelo concreto enquanto os tirantes são campos de tensão de tração, normalmente resistidos pela armadura. Ainda é possível considerar o concreto resistindo parte da tensão de tração, respeitando as condições de segurança.

Figura 3 – Modelo de escoras e tirantes idealizado.



Fonte: Souza (2004)

O modelo de bielas adotado é função da geometria da estrutura e das ações atuantes em seu contorno, a Figura 3 mostra como seria um modelo idealizado de uma viga-parede recebendo carga de somente um ponto. Segundo Silva e Giongo (2000), normalmente pode-se obter a geometria do modelo analisando os seguintes aspectos:

- Tipos de ações atuantes;
- Ângulos entre bielas e tirantes;

- Áreas de aplicação de ações e reações;
- Número de camadas das armaduras;
- Cobrimento das armaduras

Silva e Giongo (2000) ainda relatam sobre a escolha do modelo de bielas, que pode ser feito baseando-se nos seguintes critérios:

- Modelos padronizados, disponibilizados em diversas normas;
- Processo do Caminho das Cargas;
- Análise elástica utilizando o Método dos Elementos Finitos;
- Análise não-linear que considerem a fissuração do concreto;
- Ensaios experimentais;
- Processos de otimização.

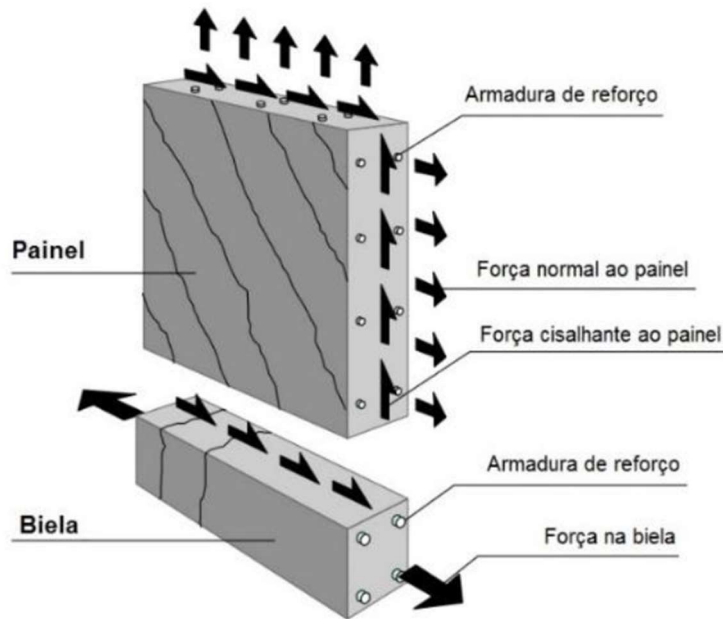
De acordo com Narciso (2009), modelos padronizados de bielas são desenvolvidos por várias normas, esses modelos normalmente são regidos pelos parâmetros geométricos da estrutura, o que restringe o campo de atuação do modelo. Os principais modelos padronizados são: blocos de fundação, sapatas, consolos, vigas-parede e vigas com furo na alma, todos eles baseados em ensaios experimentais. Estes modelos também estão presentes na norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014).

2.4 Método Biela-Painel (MBP)

Segundo Souza (2004), o MBP, tem como origem o Método das Forças, que foi deixando de ser usado gradualmente em prol do Método dos Deslocamentos, pois o último tem maior facilidade em ser programado computacionalmente.

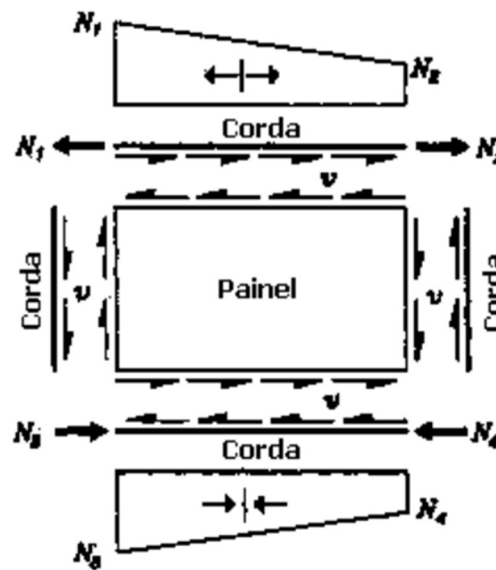
Para Refer (2012) o princípio do MBP é dividir o elemento em barras, chamadas bielas ou cordas e áreas (painéis) cercadas pelas bielas, onde as bielas resistem a compressão ou tração e os painéis transmitem a força cortante para os apoios.

Figura 4 – Elementos do modelo Biela-Painel.



Fonte: adaptado de Blaauwendraad e Hoogenboom (1996).

Figura 5 – Comportamento linear das forças normais nas cordas.

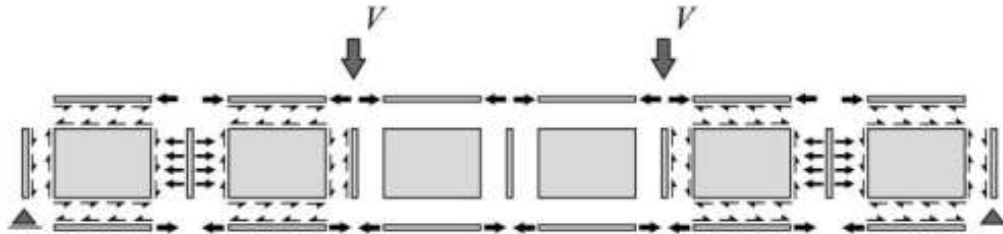


Fonte: Souza (2004).

Segundo Blaauwendraad & Hoogenboom (1996), há apenas uma força cortante em cada painel, sendo que ela tem o mesmo módulo por unidade de comprimento em quaisquer posições do painel. Essa força ainda atua junto da interface entre os painéis e as bielas e, seguindo as configurações de equilíbrio, a força normal na biela pode aumentar ou diminuir de forma linear. A Figura 4 mostra os dois tipos de elementos presentes no MBP, a biela e o painel, e as forças que atuam nesses elementos, enquanto a Figura 5 demonstra as forças normais e seu comportamento linear nas bielas.

Segundo Souza (2004), o Método Biela-Painel normalmente resulta em armaduras principais na direção em que seguem as cargas e apoios, e armaduras secundárias que formam uma malha nos painéis modelados para a estrutura.

Figura 6 – Modelo Biela-Painel para uma viga apoiada.

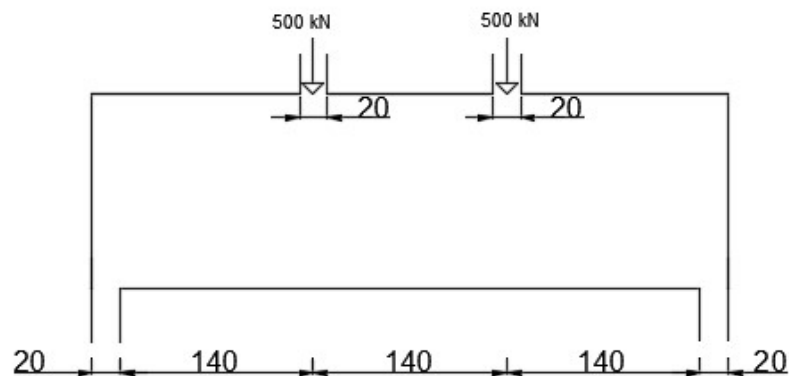


Fonte: Blaauwendraad e Hoogenboom (1996).

Sendo o procedimento do Método Biela-Painel semelhante ao do Método das Bielas, as bielas e os painéis devem ser modelados em localidades que tendem a seguir um caminho condizente com a realidade dos esforços. A Figura 6 apresenta um modelo do MBP para uma viga apoiada e as forças existentes entre os elementos do modelo.

3 METODOLOGIA

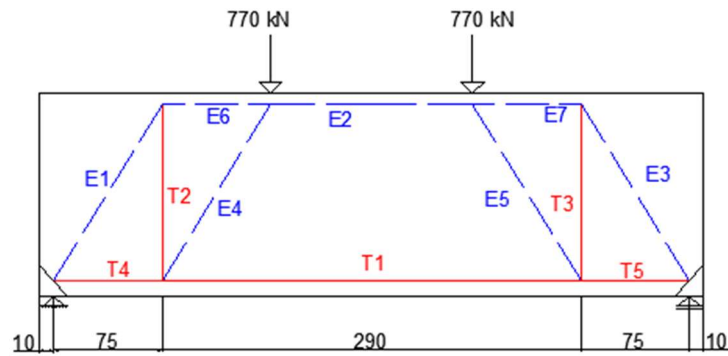
Figura 7 – Exemplo de viga-parede a ser usado.



Fonte: Autor (2022).

Para a comparação entre os dimensionamentos será usada uma viga-parede, ilustrada na Figura 7. A viga-parede possui 460 cm de comprimento, 140 cm de altura e 40 cm de largura da seção transversal. São aplicados dois carregamentos de 500 kN, um deles com a distância de 140cm do pilar de apoio à esquerda e o outro com a mesma distância para o pilar de apoio à direita. Os materiais utilizados serão concreto classe C30 e aço CA-50. Ao final, os detalhes apresentados são apenas esboços das armaduras, um projeto final deve levar em consideração a ancoragem e detalhamento segundo as condições descritas na norma ABNT NBR 6118:2014.

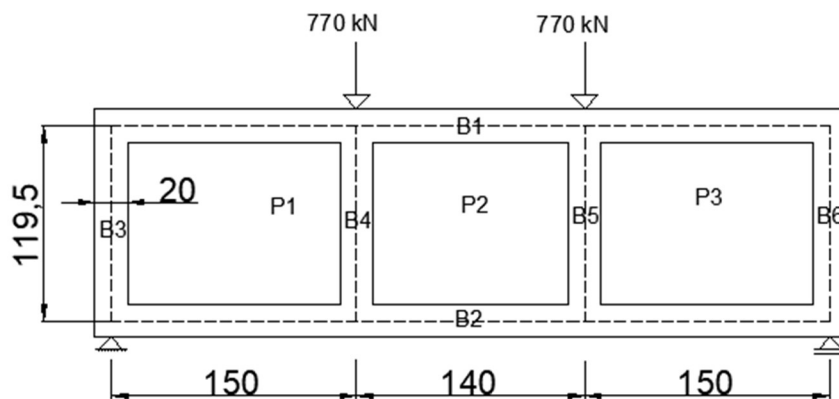
Figura 8 – Modelo de Bielas.



Fonte: Autor (2022).

A Figura 8 apresenta o modelo de Bielas considerado na análise, ele é formado por 7 escoras e 5 tirantes, adotando-se 21cm para a altura das escoras E2, E6 e E7 e, por geometria, a altura da escora E1, E3, E4 e E5 é de 29cm.

Figura 9 – Modelo Biela-Painel.



Fonte: Autor (2022).

O modelo Biela-Painel (Figura 9) apresenta 6 bielas e 3 painéis, sendo as bielas verticais com altura de 20cm acompanhando os apoios e pontos de recebimento de carga, as bielas superior e inferior possuem 21cm de altura.

3.1 Dimensionamento e verificação pelo MB

Os valores de cálculo dos esforços estão de acordo com as normas brasileiras NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 8681 (ABNT, 2003) que trazem a Equação 1 como padrão para o cálculo em Estado Limite Último.

$$F_d = \gamma_f \gamma_n F_k \quad (1)$$

sendo: γ_f : coeficiente de ponderação das ações para estado limite último (1,4 para combinações normais);
 γ_n : coeficiente de ponderação adicional para regiões “D” ($1,1 \leq \gamma_n \leq 1,4$);
 F_k : valor característico do esforço considerado.

Os valores das cargas presentes na Figura 8 e Figura 9 foram majorados em relação ao valor da Figura 7 conforme a Equação 1.

O dimensionamento das armaduras das bielas solicitadas à tração é feito conforme Mello (2015) e é calculado a partir da Equação (2).

$$A_s = \frac{N_{d,t}}{f_{yd}} \quad (2)$$

sendo: $N_{d,t}$: valor de cálculo do esforço normal de tração;
 f_{yd} : tensão de escoamento de cálculo do aço.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) prevê três situações para o cálculo dos parâmetros de resistência das bielas, a Equação 3 em caso de bielas prismáticas, a Equação 4 em caso de bielas atravessadas por mais de um tirante e a Equação 5 em caso de biela atravessada por tirante único.

$$f_{cd1} = 0,85 \times \alpha_{v2} \times f_{cd} \quad (3)$$

$$f_{cd2} = 0,60 \times \alpha_{v2} \times f_{cd} \quad (4)$$

$$f_{cd3} = 0,72 \times \alpha_{v2} \times f_{cd} \quad (5)$$

sendo: $\alpha_{v2} = 1 - f_{ck}/250$ (com “ f_{ck} ” em MPa).

3.2 Dimensionamento e verificação pelo MBP

3.2.1 Bielas

Para as bielas que resistem à compressão a tensão de cálculo na biela não deve ultrapassar o valor efetivo da resistência do concreto segundo a Equação 6.

$$\sigma_b = \frac{N_{d,c}}{A_{c,b}} \leq \alpha_c f_{cd} \quad (6)$$

onde: $N_{d,c}$: valor de cálculo do esforço de compressão na biela;
 $A_{c,b}$: área da seção transversal da biela;
 α_c : coeficiente de redução da tensão de compressão de pico do concreto.
 Para uso de concreto de até 50MPa, adota-se “ $\alpha_c = 0,85$ ”;
 f_{cd} : resistência à compressão de cálculo do concreto.

3.2.2 Painéis

O dimensionamento das armaduras dos painéis é feito conforme mostrado por Mello (2015), sendo a taxa geométrica de armaduras calculada com a Equação 7.

$$\rho_s = \frac{\tau_p}{f_{yd}} \quad (7)$$

sendo: τ_p : tensão cisalhante de cálculo no painel.

O cálculo de “ τ_p ” é feito através da Equação 8.

$$\tau_p = \frac{v_d}{b_w} \quad (8)$$

sendo: v_d : força cisalhante por metro de altura da viga;
 b_w : largura da viga.

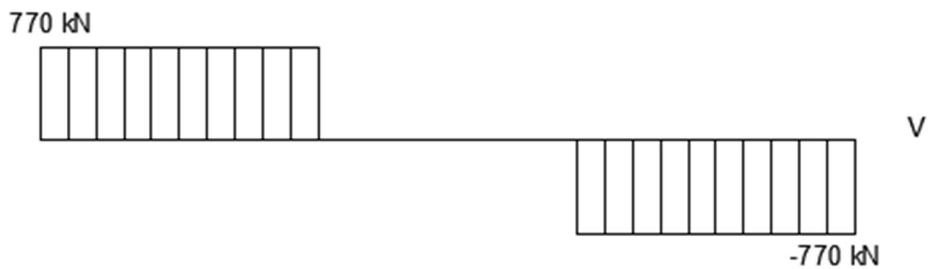
Segundo Mello (2015), devido às tensões transversais de tração nos painéis a tensão “ σ_c ” deve ser verificada junto a um valor que leve em consideração devem também o abrandamento do concreto. No presente trabalho, de acordo com a norma brasileira ABNT NBR 6118:2014 a tensão “ σ_c ” deve ser menor que f_{cd} .

$$\sigma_{cd} = -2 \tau_p \quad (9)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

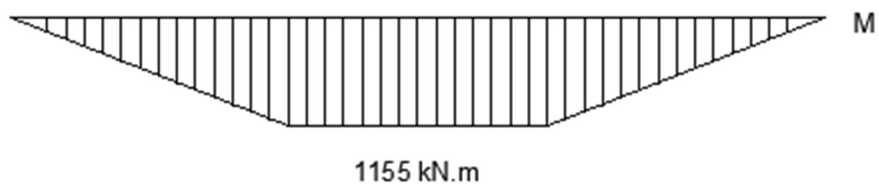
A Figura 10 e 11 apresenta os diagramas de esforços internos da viga-parede obtidos através de análise linear

Figura 10 – Diagrama de esforços internos da força cortante.



Fonte: Autor (2022).

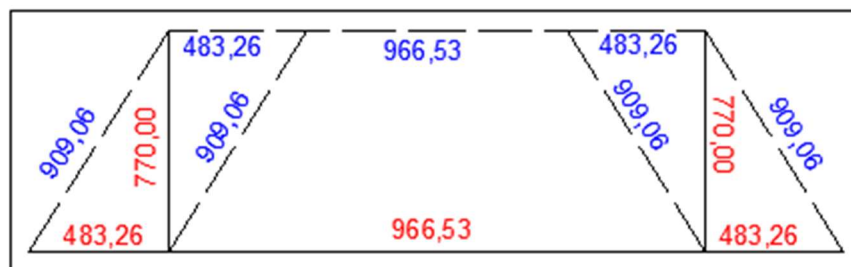
Figura 11 – Diagrama de esforços internos do momento fletor.



Fonte: Autor (2022).

4.1 Cálculo de armadura pelo MB

Figura 12 – Diagrama de esforços pelo modelo de Bielas.



Fonte: Autor (2022).

No modelo de Bielas adotou-se o modelo de suspensão total em que o tirante vertical resistirá a toda carga vertical e nenhuma carga vai direto ao apoio, após uma análise linear os esforços obtidos estão na Figura 12, os esforços de compressão estão plotados em azul e os esforços de tração estão plotados em vermelho.

A armadura principal é obtida através da Equação (10):

$$A_s = \frac{966,53}{43,478} = 22,23 \text{ cm}^2 (5 \phi 25\text{mm}) \quad (10)$$

Na Equação 11 se obtém a armadura na direção vertical para o MB através da Equação 2, seguindo o modelo deveria existir uma armadura concentrada, porém segundo Nepomuceno (2012), é recomendável o uso de barras mais finas em várias camadas distribuindo as armaduras em uma área maior evitando o esmagamento em regiões nodais.

$$A_{sy} = \frac{770}{43,478} = 17,71 \text{ cm}^2 (\phi 10\text{mm } c/12\text{cm}) \quad (11)$$

O modelo do MB não prevê armadura longitudinal sem ser a principal, então deve-se armar com a armadura mínima conforme a Equação 13. A armadura vertical calculada na Equação 11, porém é maior que a armadura vertical mínima exigida em norma conforme Equação 14 então por questões construtivas toda a viga será armada com a mesma armadura calculado na Equação 15.

$$\rho_{pele,min} = 0,20\% \quad (12)$$

$$A_{sx} = A_{sx,min} = 0,20\% \cdot bw \cdot he = 9,56 \text{ cm}^2 (\phi 8\text{mm } c/14\text{cm}) \quad (13)$$

$$\rho_{sw,min} = 0,2 \cdot \frac{f_{ct,m}}{f_{yw,k}} = \frac{0,3 \cdot 30^{2/3}}{500} \approx 0,15\% \quad (14)$$

$$A_{sy,min} = 0,20\% \cdot bw \cdot le = 12 \text{ cm}^2 \quad (15)$$

4.2 Cálculo de armadura pelo MBP

A armadura principal é obtida através da Equação (16):

$$A_s = \frac{966,53}{43,478} = 22,23 \text{ cm}^2 (5 \phi 25\text{mm}) \quad (16)$$

Para o cálculo de “ τ_p ” segundo a Equação 8 é preciso o valor de v_d , esse valor é calculado conforme Mello (2015) resultando nas equações 17, 18 e 19.

$$v_1 = \frac{V_1}{h_e} = \frac{770 \text{ kN}}{1,195 \text{ m}} = 644,35 \text{ kN/m} \quad (17)$$

$$v_2 = \frac{V_2}{h_e} = \frac{0 \text{ kN}}{1,195 \text{ m}} = 0 \text{ kN/m} \quad (18)$$

$$v_3 = \frac{V_3}{h_e} = \frac{-770 \text{ kN}}{1,195 \text{ m}} = -644,35 \text{ kN/m} \quad (19)$$

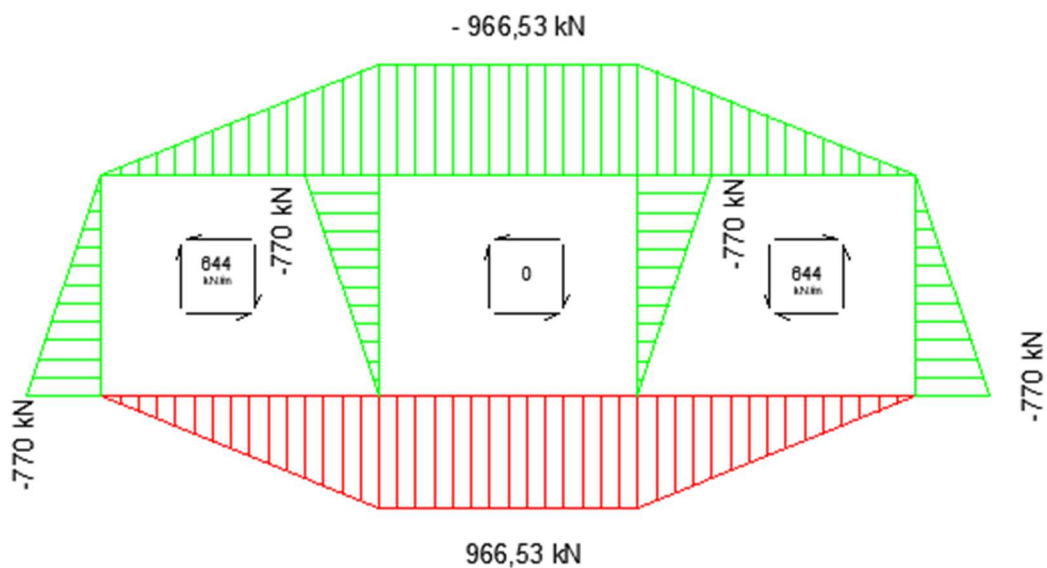
O esforço máximo nas bielas é calculado conforme Mello (2015) e é obtido por:

$$F_{B2} = \frac{M_B}{h_e} = \frac{1155 \text{ kN.m}}{1,195 \text{ m}} = 966,53 \text{ kN} \quad (20)$$

Para o equilíbrio da seção tem-se que:

$$F_{B1} = -F_{B2} = -966,53 \text{ kN} \quad (21)$$

Figura 13 – Diagrama de esforços pelo modelo Biela-Painel.



Fonte: Autor (2022).

A Figura 13 demonstra os esforços nas bielas e painéis da viga-parede obtidos através das equações, os esforços em compressão estão em verde e com valor negativo, os esforços em tração estão em vermelho e positivos.

Para os painéis, a taxa de armadura foi calculada conforme a Equação 21. O painel 2 não resiste a nenhum esforço portanto teria que ser armado com a armadura mínima calculada na Equação 12 e Equação 14, porém por questões construtivas será adotada a mesma armadura dos painéis 1 e 3 para o painel 2, isso é possível pois a armadura dos painéis 1 e 3 tem uma taxa maior que a taxa de armadura mínima.

$$\rho_{sx} = \rho_{sy} = \frac{1,611}{43,48} = 0,37\% \quad (\phi 12,5 \text{ mm } c/ 12 \text{ cm}) \quad (21)$$

$$A_{sx2} = A_{sx1,3} \rightarrow (\phi 12,5 \text{ mm } c/ 12 \text{ cm}) \quad (22)$$

$$A_{sy} = A_{sy1,3} \rightarrow (\phi 12,5mm \text{ c/ } 12cm) \quad (23)$$

4.3 Verificações da resistência do concreto no MB e MBP

Tabela 1 – Verificação pelo MB

Número	N_d (kN)	A_b (cm ²)	σ_b (MPa)	σ_{lim} (MPa)		Verificação
1 e 4	912,07	1160,00	7,84	11,31	f_{cd2}	OK
2	966,53	840,00	11,48	18,22	$0,85f_{cd}$	OK

Fonte: Autor (2022).

A Tabela 1 apresenta os dados obtidos para verificação pelo modelo do MB onde as bielas 1 e 4 foram agrupadas pois possuem a mesma geometria e resistem ao mesmo valor de esforço. Todas as bielas foram verificadas com sucesso.

Tabela 2 – Verificação pelo MBP

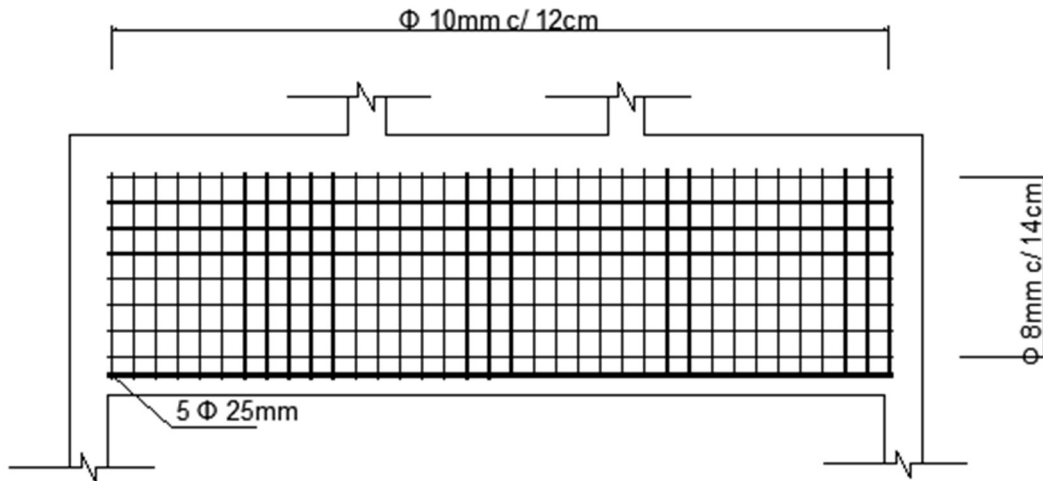
Bielas						
Número	N_d (kN)	A_b (cm ²)	σ_b (MPa)	σ_{lim} (MPa)		Verificação
1	966,53	840,00	11,51	18,22	$0,85f_{cd}$	OK
3, 4 ,5 e 6	770,00	800,00	9,63	18,22	$0,85f_{cd}$	OK
Painéis						
Número	$\tau_{p1,3}$	σ_b (MPa)	σ_{lim} (MPa)		Verificação	
1 e 3	1,611	-3,222	-11,31	f_{cd2}	OK	

Fonte: Autor (2022).

A Tabela 2 apresenta os dados obtidos para verificação das bielas e painéis pelo modelo do MBP das onde as bielas 3,4,5 e 6 foram agrupadas pois possuem a mesma geometria e resistem ao mesmo valor de esforço. Os painéis 1 e 3 foram agrupados por pois tem a mesma geometria e resistem ao mesmo esforço. Todas as bielas e painéis foram verificados com sucesso.

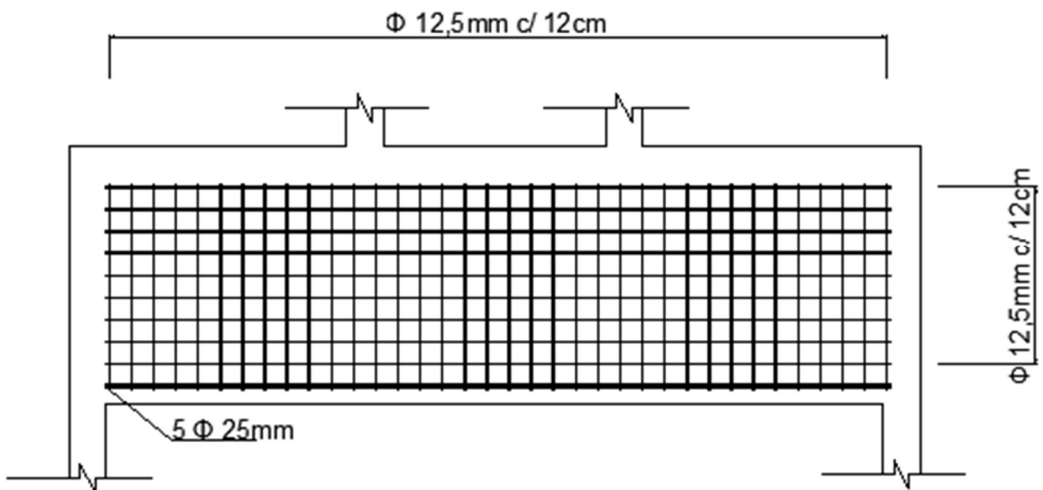
4.4 Detalhe da viga-parede dimensionada

Figura 14 – Detalhe das armaduras para o MB.



Fonte: Autor (2022).

Figura 15 – Detalhe das armaduras para o MBP.



Fonte: Autor (2022).

A Figura 14 e 15 apresentam os detalhes das armaduras resultantes para os modelos analisados, comparando os dois resultados percebe-se que a armadura longitudinal inferior é igual, isso acontece porque ambos os modelos calculam a área de aço a partir do braço de alavanca e pela análise linear se obtém o mesmo valor. Para o MBP a malha de armadura tem maior área de aço do que o MB, a diferença maior fica na armadura longitudinal em que o MB resulta em apenas a área mínima conforme a norma NBR 6118 (ABNT, 2014).

4.4 Comparação da área de aço obtida

Tabela 3 – Área de aço obtida em cada método

Tipo de armadura	Área de aço MB (cm ²)	Área de aço MBP (cm ²)
Principal	25	25
Horizontal secundária	8	22,5
Vertical	57,6	90

Fonte: Autor (2022).

A Tabela 3 apresenta um comparativo entre os modelos calculados no quesito área de aço. A área de aço foi obtida através do detalhe das armaduras sendo que o MBP resultou em mais área de aço para a armadura horizontal secundária e também para a armadura vertical.

5 CONCLUSÃO

A rotina manual foi aplicada em uma viga-parede através do MB e do MBP e os resultados dos dois métodos foram comparados entre si com o modelo MBP resultando em 181,25% mais área de aço que o MB em relação a armadura horizontal secundária e 56,25% mais área de aço na armadura vertical. A armadura principal foi a mesma obtida nos dois métodos.

Enfim, conclui-se que da mesma forma que para vigas-parede calculadas anteriormente, Mello (2015) e Souza (2004) o MBP gera resultados mais conservadores que o MB.

Em trabalhos futuros, sugere-se que sejam analisados outros métodos de dimensionamento, outros elementos estruturais e que sejam feitas também análises não-lineares afim de ampliar o conhecimento sobre a área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BLAAUWENDRAAD, J.; HOOGENBOOM, P. C. J. **Stringer Panel Model for Structural Concrete Design**. ACI Structural Journal, v. 93, n. 3, p. 295-305, 1996.

KUPFER, H. **Generalization of Mörsch truss analogy using principle of minimum strain energy**. CEB Bulletin d'information, Comité Euro-International du Béton, n.40, p.44–57, 1964

LEONHARDT, F. **Reducing the Shear Reinforcement in Reinforced Concrete Beams and Slabs**. Mag. Concrete Res., 17(53), 187, 1965.

MARTI, P. **Basic Tools of Reinforced Concrete Beam Design**. ACI Journal. V.82, No.1, January-February, pp 45-56, 1985.

MELLO, A. F. A. **Análise e dimensionamento de vigas-parede em concreto armado utilizando o Método Biela-Painel**. Mestrado em Engenharia Civil – Maringá: Universidade de Maringá, 2015.

NARCISO, S. P. A. **Determinação de Modelos de Escoras e Tirantes para Estruturas de Betão Armado**. 2009. 56 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, [S.I.], 2009. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/58242>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

NEPOMUCENO, C.L. **Análise de vigas-parede aplicando modelo de biela e tirante e microtreliça**. 2012. xvii, 159 f., il. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) — Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

PANTOJA, João Da Costa. **Geração Automática via Otimização Topológica e Avaliação de Segurança de Modelos de Bielias e Tirantes**. 2012. 240 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO - PUC-RIO, Rio De Janeiro, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.17771/PUCRio.acad.20548>>. Acesso em: 07 jul. 2018.

REFER, Daniel. **Computer Based FE Analysis of Reinforced Concrete Walls by the Stringer Method**. 2012. 77 p. Master Thesis (M. Sc. in Structural and Civil Engineering)- Aalborg University, [S.I.], 2012.

RUSCH, H. **On the limitations of applicability of the truss analogy for shear design of R.C. Beams.** Festschrift F. Campus "Amiciet Alumni": Université de Liege, 1964.

SANTOS, D. & GIONGO, J. S., **Análise de Vigas de Concreto Armado Utilizando Modelos de Bielas e Tirantes**, Cadernos de Engenharia de Estruturas EESC-USP, São Carlos, n. 46, pp. 61-90, 2008.

SCHLAICH, J., SCHAEFER, K., AND JENNEWEIN, M. **Towards a Consistent Design of Structural Concrete.** PCI Journal. V. 32, No. 3, May-June, pp 74-150, 1987.

SOUZA, R. A. **Concreto estrutural: análise e dimensionamento de elementos com descontinuidades.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 442 p. 2004.