



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO – UFERSA
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS – CMPF
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

JOELTON SANTANA DA SILVA

**ANÁLISE PARAMÉTRICA DE VIGAS COM ABERTURAS DE
DIMENSÕES NÃO USUAIS PELO MÉTODO DE BIELAS E TIRANTES**

**PAU DOS FERROS
2022**

JOELTON SANTANA DA SILVA

**ANÁLISE PARAMÉTRICA DE VIGAS COM ABERTURAS DE
DIMENSÕES NÃO USUAIS PELO MÉTODO DE BIELAS E TIRANTES**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal Rural
do Semi-Árido – UFERSA, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Matheus Fernandes
de Araújo Silva.

**PAU DOS FERROS
2022**

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586a Silva, Joelton Santana da.
Análise paramétrica de vigas com aberturas de
dimensões não usuais pelo método de bielas e
tirantes / Joelton Santana da Silva. - 2022.
84 f. : il.

Orientador: Matheus Fernandes de Araújo Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2022.

1. Bielas e tirantes. 2. Vigas com aberturas.
3. Descontinuidade geométrica. I. Silva, Matheus
Fernandes de Araújo, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 1115

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JOELTON SANTANA DA SILVA

**ANÁLISE PARAMÉTRICA DE VIGAS COM ABERTURAS DE
DIMENSÕES NÃO USUAIS PELO MÉTODO DE BIELAS E TIRANTES**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal Rural
do Semi-Árido – UFERSA, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 18/11/ 2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Matheus Fernandes de Araújo Silva
Presidente

Prof. Dr. Paulo Henrique Araújo Bezerra
Primeiro Membro

Esp. Francisco Edvar Lima Júnior
Segundo Membro

DEDICATÓRIA

A Deus, a toda

minha família e aos meus pais,

Josimar Evangelista e Maria José.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força, coragem e paciência para continuar em busca dos meus objetivos e por ter me dado o prazer de conviver ao lado de pessoas incríveis.

Ao meus pais, Josimar Evangelista da Silva e Maria José Santana, por estarem sempre batalhando comigo e por me ensinarem a ser forte diante das dificuldades.

Ao professor Dr. Matheus Fernandes de Araújo Silva por aceitar ser meu orientador durante a construção deste trabalho, pelo conhecimento compartilhado, pelo exemplo de ser humano e pela paciência durante todo esse processo de aprendizado.

Aos meus companheiros de labuta John David e Luiz Eduardo, que sempre estiveram comigo durante todo esse percurso acadêmico, incentivando, ajudando e compartilhando momentos.

A todos os meus familiares e amigos, que mesmo estando distantes geograficamente sempre me incentivaram a continuar e me apoiaram quando precisei.

A todos os professores da Universidade Federal Rural do Semi-Árido do campus Pau dos Ferros que fizeram parte dessa caminhada, por se dedicarem tanto em sua profissão e por estarem sempre dispostos a ajudar os discentes diante das diversas dificuldades.

Aos amigos que conheci no decorrer da vida acadêmica, por todas as palavras de incentivo, apoio e ensinamentos, em especial a Breno Eduardo, Bruno Sousa, Eduardo Duarte, Rômulo Sobreira, William Vieira, Karina Estrela e Kaelly de Freitas.

“Educação não transforma o mundo. Educação muda as pessoas. Pessoas mudam o mundo.”

(Paulo Freire)

RESUMO

Em grande parte das obras da construção civil é comum a inserção de aberturas em vigas para a passagem de elementos de instalações prediais, o que pode gerar perturbações significativas no fluxo de tensões que se desenvolve no interior da viga. Por apresentarem descontinuidade geométrica, vigas que apresentam aberturas em algum ponto ao longo do seu comprimento são tratadas como elementos especiais na engenharia e devem ser analisadas através de métodos específicos que possibilitem a segurança do elemento estrutural. Uma das alternativas de alta confiabilidade para o dimensionamento desse tipo de elemento é o método de bielas e tirantes, cuja ideia principal se baseia na Analogia de Treliça proposta por E. Mörsch. Desse modo, este trabalho tem o objetivo de analisar parametricamente vigas com aberturas de dimensões não usuais utilizando o método de bielas e tirantes. Busca-se apresentar os principais fundamentos do método de bielas e tirantes para posteriormente analisar aberturas com diferentes dimensões tomando-se como base um modelo de bielas e tirantes encontrado em literatura específica. A partir dos resultados obtidos com a aplicação do método, os efeitos proporcionados pela variação de dimensão das aberturas são discutidos e comparados entre si, assim como é enfatizada a importância da verificação desse tipo de descontinuidade.

Palavras-Chave: Bielas e tirantes; Vigas com aberturas; Descontinuidade geométrica.

ABSTRACT

In most civil construction works, it is common to insert openings in beams for the passage of elements for building installations, which can generate significant disturbances in the tensions flow that develops inside the beam. Because they present geometric discontinuity, beams that have openings at some point along their length are treated as special elements in engineering and must be analyzed through specific methods that allow the safety of the structural element. One of the highly reliable alternatives for the design of this type of element is the strut and tie method, whose main idea is based on the Truss Analogy proposed by E. Mörsch. Thus, this work aims to parametrically analyze beams with openings of unusual dimensions using the strut and tie method. It seeks to present the main fundamentals of the strut and tie method to analyze openings with different dimensions based on a strut and braces model found in specific literature. From the results obtained with the application of the method, the effects provided by the variation in the size of the openings are discussed and compared with each other, as well as the importance of verifying this type of discontinuity is emphasized.

Keywords: Struts and ties; Beams with openings; Geometric discontinuity.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	PROBLEMATIZAÇÃO.....	16
3	OBJETIVOS	17
3.1	GERAL.....	17
3.2	ESPECÍFICOS.....	17
4	JUSTIFICATIVA.....	17
5	REVISÃO TEÓRICA.....	18
5.1	FUROS EM VIGAS	18
5.2	MÉTODO DE BIELAS E TIRANTES	20
6	METODOLOGIA.....	25
7	RESULTADOS.....	29
7.1	CASO 01: ABERTURA DE 12cmx12cm	29
7.1.1	MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO	29
7.1.2	ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO	30
7.1.3	ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA	33
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
	REFERÊNCIAS.....	39
	APÊNDICE A – DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS DE REFORÇO	41
	CASO 02: ABERTURA DE 20cmx20cm.....	41
	MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO	41

ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO	42
ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA	44
CASO 03: ABERTURA DE 30cmx20cm	45
MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO	45
ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO	46
ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA	48
CASO 04: ABERTURA DE 40cmx20cm	49
MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO	49
ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO	50
ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA	52
CASO 05: ABERTURA DE 50cmx20cm	53
MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO	53
ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO	54
ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA	56
CASO 06: ABERTURA DE 60cmx20cm	57
MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO	57
ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO	58
ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA	60
CASO 07: ABERTURA DE 70cmx20cm	61
MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO	61
ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO	62
ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA	64
CASO 08: ABERTURA DE 80cmx20cm	65
MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO	65
ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO	66
ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA	68
CASO 09: ABERTURA DE 90cmx20cm	69
MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO	69
ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO	70
ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA	72
CASO 10: ABERTURA DE 100cmx20cm	73

MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO	73
ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO	74
ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA	76
CASO 11: ABERTURA DE 110cmx20cm	77
MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO	77
ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO	78
ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA	80
CASO 12: ABERTURA DE 120cmx20cm	81
MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO	81
ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO	82
ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA	84
CASO 13: ABERTURA DE 130cmx20cm	85
MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO	85
ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO	86
ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA	88

1 INTRODUÇÃO

A inserção de furos em vigas é uma prática corriqueira na construção civil, visto que a compatibilização do projeto estrutural com os demais projetos de engenharia nem sempre garante uma solução que evite os mesmos ou, por questões econômicas ou de concepção dos demais projetos, torna-se mais viável inserir aberturas para que a continuidade da trajetória de tubulações, eletrodutos e outros elementos seja garantida. Em muitas situações, as vigas são dimensionadas sem a presença de furos, mas devido à necessidade de passagem de tubulações de água, esgoto ou incêndio, as mesmas acabam sendo executadas com furos (SILVA, 2014).

A ABNT NBR 6118:2014 estabelece os critérios necessários para a dispensa de verificação de furos em vigas. Ultrapassados algum dos limites estabelecidos pela norma supracitada, o dimensionamento deve ser feito levando em consideração à presença do furo, visto que este representa uma descontinuidade geométrica que pode afetar diretamente a resistência do elemento estrutural. De modo geral, a análise de elementos estruturais na engenharia baseia-se nos modelos de flexão simples, sobretudo quando esses elementos são considerados contínuos e isotrópicos. Para esses elementos, de forma simplificada, uma análise que admite a Hipótese de Bernoulli é comumente utilizada (SIMÃO, 2014).

No que se refere ao posicionamento de furos em vigas, é comum os engenheiros o indicarem levando em conta somente os efeitos da flexão. No entanto, conforme afirma Simão (2014), “abertura na região de cisalhamento causa uma interrupção da continuidade da alma, que gera uma perturbação local dos fluxos dos esforços de compressão e tração, o que modifica o mecanismo resistente ao cisalhamento da viga.” Essa modificação do mecanismo resistente faz com que essas regiões de descontinuidade necessitem de uma atenção maior, de modo que o dimensionamento do elemento estrutural seja feito levando em consideração a perturbação citada anteriormente e através de métodos adequados.

Com base no exposto, um dos métodos de dimensionamento de alta confiabilidade para o caso de vigas que apresentam furos é o método das bielas e tirantes. Esse método surgiu a partir do aprimoramento da conhecida Analogia de Treliça proposta por E. Mörsch, cuja ideia principal sugere que a viga se comporta

internamente de forma semelhante a uma treliça, apresentando regiões de compressão e tração (SANTOS, 2006). Dessa maneira, dada a região de descontinuidade no elemento estrutural, os modelos de bielas e tirantes são idealizados observando-se a trajetória das forças ao longo dele (AGUIAR, 2018).

Segundo essa metodologia de dimensionamento, os modelos de bielas e tirantes são compostos por bielas, tirantes e nós. As bielas correspondem às regiões em que se tem resultante de compressão, os tirantes representam as regiões onde serão posicionadas as armaduras responsáveis por resistir aos esforços de tração e os nós ligam as bielas e tirantes e recebem as forças concentradas aplicadas ao modelo (ABNT NBR 6118, 2014).

Nesse sentido, levando em consideração a importância do desempenho das vigas em um sistema estrutural e os impactos causados pela execução de furos nas mesmas, esse trabalho busca analisar os efeitos da variação das dimensões de furos retangulares em vigas e aplicar modelos de bielas e tirantes correspondentes com base nos parâmetros de dimensões fornecidos.

2 PROBLEMATIZAÇÃO

A presença de furos em vigas é bastante comum na maioria das edificações e, por razões intrínsecas aos profissionais responsáveis pelo projeto e execução dessas vigas, muitas vezes não é verificado a influência desses furos na resistência à flexão e ao esforço cortante do elemento ou esse processo é feito por métodos com baixa confiabilidade. Para suprir essa necessidade, o método de bielas e tirantes é uma excelente alternativa. Porém, deve-se ter noção do melhor modelo a ser aplicado com base nas dimensões do furo, processo esse que é facilitado quando o profissional projetista tem conhecimento do comportamento do elemento estrutural diante da modificação sofrida em sua geometria.

3 OBJETIVOS

3.1 GERAL

- ✓ Analisar parametricamente o dimensionamento de vigas com aberturas retangulares com dimensões não usuais utilizando o método de bielas e tirantes.

3.2 ESPECÍFICOS

- ✓ Avaliar modelos existentes de bielas e tirantes para vigas com aberturas retangulares;
- ✓ Pesquisar e implementar um modelo de cálculo para as armaduras de reforço de aberturas em vigas.

4 JUSTIFICATIVA

Conforme os furos tornam-se necessários em uma determinada edificação, as consequências causadas por essa prática devem ser analisadas com cuidado. Quando as dimensões dos furos são pequenas, os efeitos gerados à resistência à força cortante e à flexão das vigas são desprezíveis. Porém, quando esses furos apresentam grandes dimensões, a resistência da viga pode ser consideravelmente afetada, colocando em risco a integridade física da edificação.

Dito isso, as regiões de furos em vigas precisam de uma atenção maior e aplicação de métodos confiáveis, como é o caso do método de bielas e tirantes. Segundo Santos (2006),

“O modelo de bielas e tirantes apresenta como uma de suas vantagens a generalidade, ou seja, é capaz de representar, de modo aproximado, porém realista e sistemático, grande parte dos elementos de concreto estrutural da atualidade. Além disso, permite ao engenheiro fácil visualização físico-intuitiva do comportamento do concreto estrutural”.

5 REVISÃO TEÓRICA

5.1 FUROS EM VIGAS

Em grande parte dos projetos de engenharia, os projetistas se encontram em situações nas quais elementos de diferentes tipos de projetos se confrontam, como é o caso de tubulações e vigas. Esse tipo de situação ocorre com frequência em edificações cujo sistema estrutural é composto por lajes treliçadas ou maciças que se apoiam em vigas, onde em uma compatibilização de projetos torna-se necessário furar algumas vigas para a passagem de tubulações (DEMETRIO, 2021). Diante disso, percebe-se que independente da solução adotada, um dos elementos sofrerá mudanças de comportamento ou direção.

A presença de furos em vigas influencia diretamente a resistência das mesmas, visto que esse tipo de descontinuidade provoca perturbações no fluxo de tensões gerado pela atuação de carregamentos externos. Devido a essas perturbações, deve-se utilizar um modelo de cálculo apropriado, de modo que a viga em questão não tenha redução significativa da sua capacidade de resistência. Além disso, uma atenção especial é válida para trechos que apresentam altos valores de esforço cortante, dado que a resistência a esse tipo de esforço é intimamente dependente da área de concreto existente.

As regiões de descontinuidade em elementos estruturais, sejam elas geométricas ou estáticas, como é o caso dos furos em vigas, são denominadas de regiões D. Nessas regiões, a hipótese de Bernoulli não é válida, isto é, as seções não permanecem planas após ocorridas as deformações, sendo necessário recorrer a métodos de dimensionamento mais sofisticados (SIMÃO, 2014). Para situações como esta, pode-se optar pelo método de bielas e tirantes, cuja metodologia de dimensionamento será apresentada no decorrer deste trabalho.

Quanto aos critérios de dispensa de verificação de furos em vigas estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2014, devem ser satisfeitas, de forma simultânea, as seguintes condições:

- Furos em zonas de tração e a uma distância da face do apoio de no mínimo 2

h , onde h é a altura da viga;

- Dimensão do furo de no máximo 12 cm e $h/3$;
- Distância entre faces de furos, em um mesmo tramo, de no mínimo 2 h ;
- Cobrimentos suficientes e não seccionamento das armaduras.

Caso alguma das condições acima não seja satisfeita, o engenheiro responsável pelo dimensionamento da estrutura pode optar pelo estudo do fluxo de tensões ao longo do elemento, a fim de aplicar o modelo de bielas e tirantes que melhor se adequa a esse fluxo. Moreira *et. al* (2019) realizaram estudos em vigas de concreto armado com furos através de ensaios que simularam casos de flexão simples e flexão pura, comprovando que as orientações dispostas na NBR 6118 são satisfatórias.

De acordo com estudos realizados por Mansur (1999), ao se comparar uma viga de concreto armado com abertura retangular no sentido transversal com uma viga constituída pelo mesmo material e sem abertura, percebe-se que ambas podem possuir carga de ruptura com intensidade aproximadamente igual. Porém, a viga com abertura, ao atingir o estágio II, tende a apresentar deformações que podem fazer com que esta não atenda ao Estado Limite de Serviço correspondente. Este fato, quando analisado levando-se em conta as propriedades geométricas da seção, pode ser explicado pela alteração da inércia do elemento devido à perturbação geométrica na região da abertura, visto que essa propriedade está diretamente relacionada à área de concreto contribuinte para o equilíbrio.

Em uma viga convencional sem abertura, as fissuras que surgem quando o estágio II é atingido mudam de comprimento e espessura de forma ligeiramente menos acentuada se comparada à uma viga com abertura. Nesse sentido, considerando o efeito da não-linearidade física do concreto, a viga com abertura tem sua inércia alterada de modo mais acelerado na respectiva região.

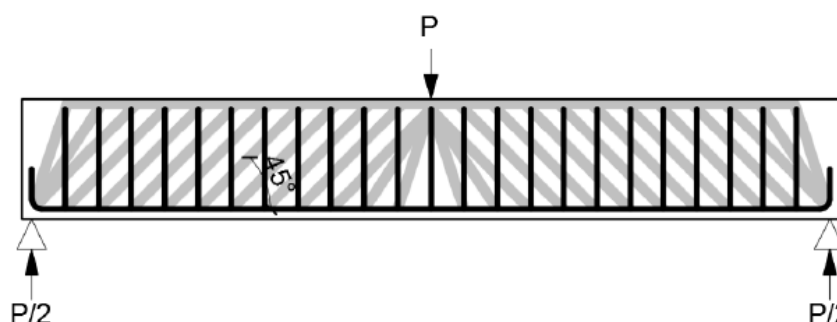
A análise de vigas com aberturas é feita considerando-se que os banzos gerados pela inserção deste tipo de descontinuidade trabalham à flexão normal, isto é, tem comportamento semelhante ao de pilares.

Com base nessas informações, é necessário a aplicação de um método de cálculo que possibilite a obtenção de armaduras que proporcionem, simultaneamente, a segurança e o controle de fissuração da peça.

5.2 MÉTODO DE BIELAS E TIRANTES

O método de bielas e tirantes se originou no início do século XX, impulsionado pela analogia de treliça aplicada ao projeto de vigas de concreto armado, desenvolvida a partir dos estudos de E. Mörsch. Mesmo sendo uma ideia desenvolvida há bastante tempo, a analogia de treliça ainda é tomada como base para o dimensionamento de vigas de concreto armado (AGUIAR, 2018). A representação clássica do funcionamento da treliça está disposta na Figura 1, onde as barras na vertical correspondem aos tirantes da treliça e barras na cor cinza representa as bielas.

Figura 1: Analogia de treliça.

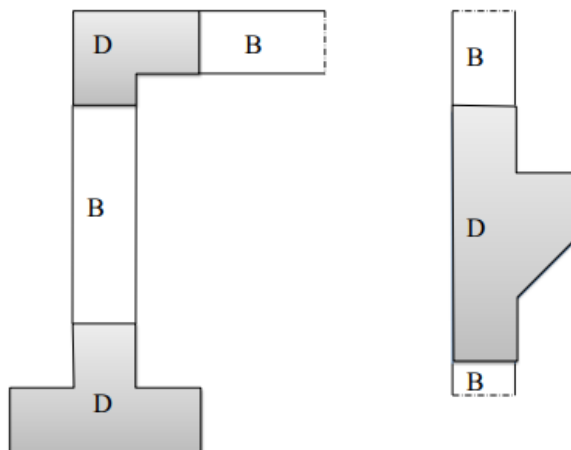


Fonte: Aguiar (2018).

Na maioria dos projetos estruturais, os elementos lineares dimensionados seguem a hipótese de Bernoulli, isto é, as seções do elemento estrutural permanecem planas após ocorridas as deformações geradas pelas solicitações. Nesse tipo de situação, tem-se as denominadas regiões B, nas quais o estado interno de tensões pode ser obtido com facilidade a partir dos esforços seccionais (BORGES, 2022). Por outro lado, como já foi citado anteriormente, há regiões que não obedecem a tal princípio (Regiões D), apresentando um estado interno de tensões que só pode ser obtido com maior precisão através de simulações numéricas. Na Figura 2, estão

dispostos exemplos em que os pontos que definem o início e fim de regiões B e D ao longo de uma estrutura podem ser observados.

Figura 2: Exemplos de regiões B e D.

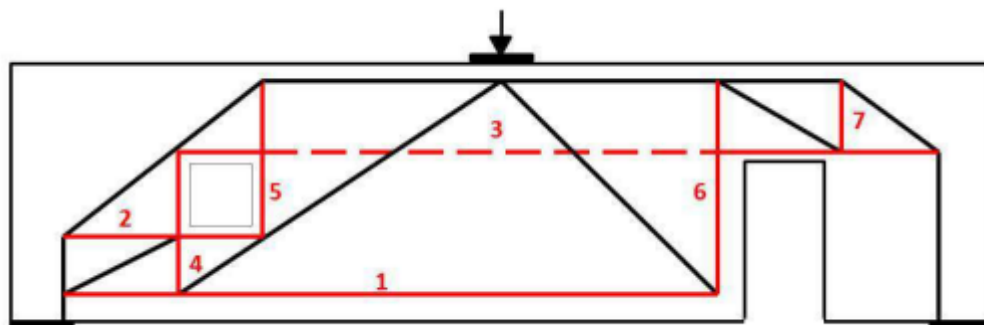


Fonte: Santos (2014).

De modo geral, é admitido que as regiões D se estendem de uma distância h para cada lado da descontinuidade, onde h representa a altura da região B que se encontra adjacente ao ponto de descontinuidade (BORGES, 2022). Desse modo, tendo-se uma região de furo em uma determinada viga de seção constante, a área envolvida pela região D tem comprimento correspondendo ao dobro da altura da viga, atentando-se ao fato de que o furo se localiza no centro da região.

Para exemplificar a metodologia seguida em um dimensionamento de armaduras de reforço em regiões de furos em vigas, pode-se tomar como base o modelo proposto por Sato (2015) para o caso de uma viga parede com abertura. O modelo obtido pelo autor pode ser observado na Figura 3, onde percebe-se a disposição de tirantes ao longo das bordas da abertura, cuja função principal é absorver os esforços de tração que surgem nessas regiões. É importante ressaltar que este modelo foi obtido a partir da análise dos esforços internos alcançados através simulação numérica por elementos finitos.

Figura 3: Modelo de bielas e tirantes para viga parede com abertura.

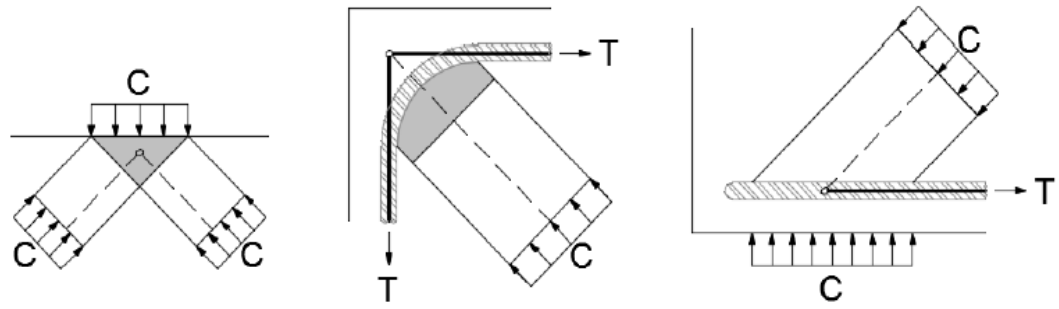


Fonte: Sato (2015).

No que se refere ao procedimento de cálculo empregado no método de bielas e tirantes, o mesmo se resume em seis etapas principais, que são elas: determinação das forças que atuam na estrutura por meio de uma análise elástica, elaboração do modelo de bielas e tirantes de acordo com a trajetória das forças, substituição das cargas distribuídas por forças concentradas posicionadas nos nós e os momentos por binários, resolução da treliça para obtenção dos esforços de compressão nas bielas e tração nos tirantes, verificação das bielas comprimidas e dos nós críticos e cálculo da área de aço necessária com suas respectivas ancoragens e detalhamento das armaduras de modo que o modelo de bielas e tirantes adotado seja compatível (AGUIAR, 2018).

Seguindo os passos supracitados, alguns parâmetros de cálculo são estabelecidos pela NBR 6118:2014, tais como o fator de efetividade do concreto e tensões máximas resistentes de compressão em nós do tipo CCC, CTT e CCT. Os nós do tipo CCC são nós onde há tensões de compressão em três direções distintas, sendo uma gerada pelo carregamento na face comprimida do concreto e as demais referentes às bielas que saem desse ponto. Já os nós CTT correspondem ao caso onde se tem o encontro de uma biela com dois tirantes em direções diferentes, equivalendo ao oposto do que acontece nos nós tipo CCT. A Figura 4 apresenta exemplos dos três tipos de nós mencionados.

Figura 4: Exemplos de nós CCC, CTT e CCT.



Fonte: Aguiar (2018).

As tensões máximas resistentes são dadas pelas seguintes equações:

$$f_{cd1} = 0,85 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \text{ (nós CCC)} \quad (5.1)$$

$$f_{cd2} = 0,60 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \text{ (nós CTT)} \quad (5.2)$$

$$f_{cd3} = 0,72 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \text{ (nós CCT)} \quad (5.3)$$

onde α_{v2} é o fator de efetividade do concreto.

Em relação ao cálculo da área de aço necessária, a mesma é dada em função do esforço de tração no tirante correspondente e da tensão de escoamento de cálculo do aço, conforme equação (5.4).

$$A_s = \frac{T_d}{f_{yd}} \quad (5.4)$$

Na etapa de análise estrutural, o equilíbrio externo da região D deve ser garantido através da determinação das cargas e reações atuantes na mesma. A partir daí, as cargas são retiradas do projeto da região B, podendo assumir uma distribuição linear de tensões (BORGES, 2022).

Considerando o caso de uma viga com abertura, os banzos localizados acima e abaixo da abertura se comportam como bielas de compressão e tirantes, respectivamente. Conforme o comprimento da biela aumenta, a possibilidade de falha prematura por instabilidade da viga também aumenta, o que torna essencial a consideração do efeito da esbelteza na biela comprimida (MANSUR, 1999). De modo geral, esses efeitos podem ser desprezados quando a seguinte condição for satisfeita:

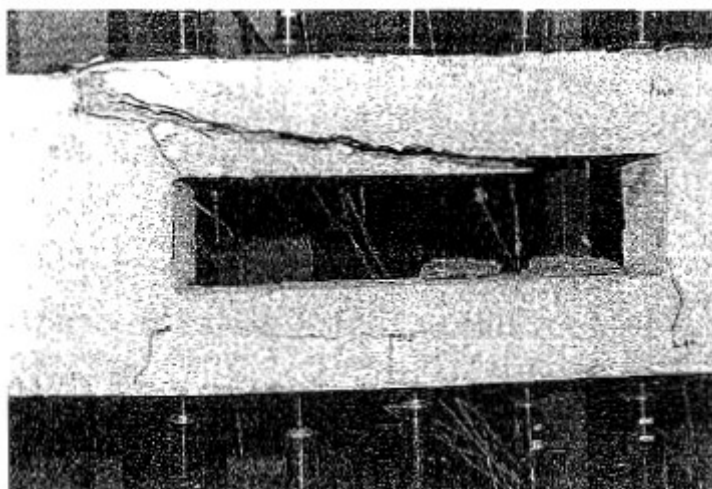
$$\frac{k \cdot l_u}{r} < 22 \quad (5.5)$$

Onde k é o fator de comprimento efetivo, l_u corresponde ao comprimento não suportado pelo banzo comprimido e r é o raio de giração, dado pela seguinte expressão,

$$r = 0,3 \cdot d_c \quad (5.6)$$

Sendo que d_c pode ser tomado como a profundidade do banzo comprimido. Conforme ilustrado na Figura 5, quando a abertura não é reforçada a ruptura do banzo de compressão ocorre diagonalmente devido ao esmagamento da biela de compressão do concreto que, por se tratar de uma ruptura frágil, busca-se sempre evitá-la (MANSUR, 1999).

Figura 5: Ruptura de viga com abertura sem reforço devido ao esmagamento do concreto.

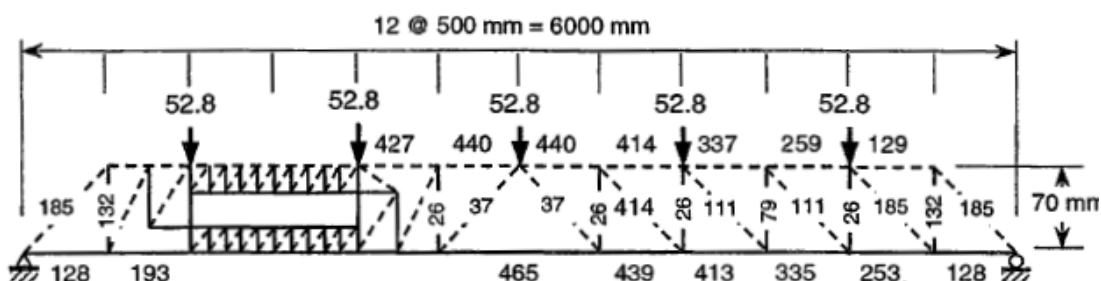


Fonte: Adaptado de Mansur (1999)

Para a situação de aberturas retangulares posicionadas em viga de concreto armado, Mansur (1999) apresenta um modelo de bielas e tirantes que pode ser utilizado como base para o dimensionamento de armaduras de reforço nessas regiões de perturbações. O modelo é exemplificado pelo autor utilizando-se como base uma viga biapoiada com seção transversal de 30cmx60cm, cujo vão é de 6 metros.

Para as bielas principais, percebe-se que procurou-se manter o ângulo de inclinação das mesmas próximo a 45° . Por outro lado, na região da abertura algumas bielas chegam a possuir inclinações próximas a 63° . A NBR 6118:2014 recomenda que o ângulo de inclinação das bielas esteja entre $29,68^\circ$ e $63,23^\circ$. Na Figura 6 é possível observar a configuração do modelo de bielas e tirantes utilizado para a obtenção das armaduras de reforço, sendo que a viga analisada está submetida a 5 cargas concentradas com intensidade de 52,8 kN.

Figura 6: Modelo de bielas e tirantes apresentado por Mansur.



Fonte: Adaptado de Mansur (1999)

6 METODOLOGIA

A metodologia assumida esteve embasada em levantamento bibliográfico e interpretação de modelos utilizados como base para a elaboração do trabalho. Segundo Gil (2008) a pesquisa se classifica como bibliográfica, visto que foi realizada uma análise minuciosa de diferentes componentes bibliográficos que abordam o assunto em foco para que posteriormente as informações absorvidas nas pesquisas fossem organizadas, possibilitando a aplicação destas na resolução do problema.

Inicialmente, o projeto constituiu-se em uma revisão bibliográfica com base em (AGUIAR, 2018; SANTOS, 2006; SIMÃO, 2014; MANSUR, 1999), entre outras referências que abordam o método de bielas e tirantes e furos em vigas, destacando as técnicas e princípios utilizados para resolução de problemas relacionados ao tema.

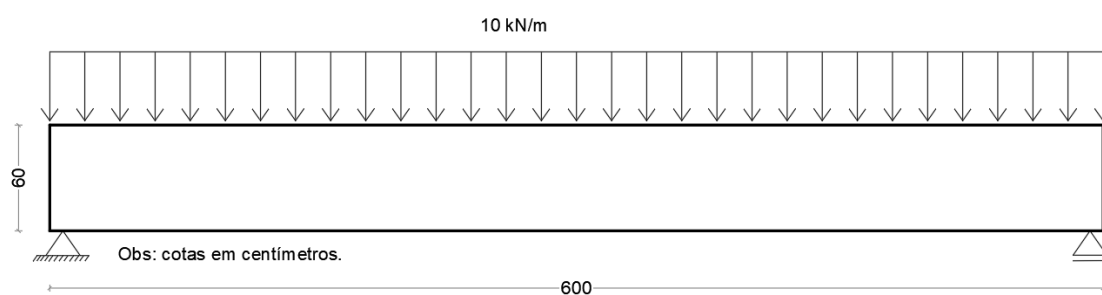
Por fim, as ideias, conceitos e modelos apresentados no trabalho serviram de base para a análise paramétrica do dimensionamento de vigas com aberturas

retangulares pelo método de bielas e tirantes, realizando-se para isso a aplicação de um modelo compatível de bielas e tirantes para cada situação analisada.

Desse modo, foram criados 13 casos de aberturas para a aplicação do modelo escolhido, tomando-se como base a viga com abertura apresentada por Mansur (1999). Como parâmetro de variação, tem-se o comprimento da abertura, estando localizada a uma distância de 103 centímetros em relação ao apoio da extremidade esquerda da viga. A variação do comprimento da abertura ocorreu através de incrementos de 10 centímetros, sendo que a profundidade da mesma é de 20 centímetros e foi mantida constante para a situação em análise.

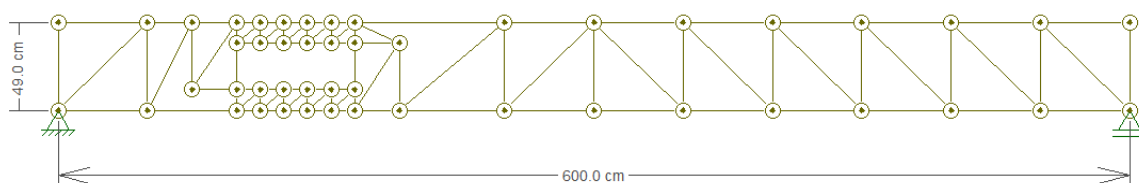
A viga possui vão de 6 metros e apresenta seção transversal retangular com dimensões de 30cmx60cm. As armaduras dimensionadas são de aço CA-50, cuja resistência característica é de 500 Mpa. Para fins de análise estrutural, a viga é considerada como biapoiada, conforme ilustrado na Figura 7. O modelo de bielas e tirantes utilizado para a determinação das armaduras de reforço no entorno da abertura corresponde ao modelo apresentado por Mansur (1999), com as devidas adequações quando necessário. O modelo está representado na Figura 8.

Figura 7: Viga utilizada como base para a aplicação do método.



Fonte: Autor (2022)

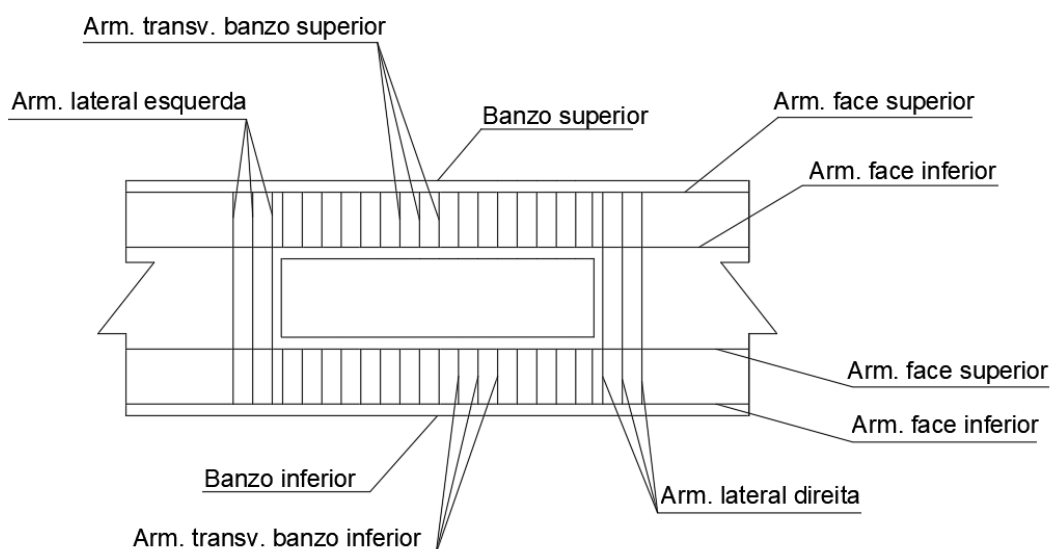
Figura 8: Modelo proposto por Mansur.



Fonte: Adaptado de Mansur (1999)

Quanto ao carregamento utilizado, adotou-se uma carga distribuída de 10 kN/m atuando sobre a viga, que é tomada como base para o cálculo das forças concentradas nos nós. Todos os modelos foram desenvolvidos no software Ftool, pois o mesmo proporciona facilidade de modelagem e agilidade na obtenção dos esforços internos. Em relação às armaduras dimensionadas, a Figura 9 apresenta o posicionamento das mesmas de acordo com a nomenclatura adotada na etapa de dimensionamento.

Figura 9: Posicionamento das armaduras conforme nomenclatura adotada.



Fonte: Autor (2022)

Conforme os valores estabelecidos pela NBR 6118:2014 usados como base para a dispensa de verificação, também foi modelada uma abertura com dimensões 12cmx12cm, que representa o caso de dimensões máximas permitidas pela norma e

corresponde ao primeiro caso analisado. A partir do caso 02, que apresenta dimensões de 20cmx20cm, segue-se variando o comprimento da abertura conforme mencionado anteriormente e mantendo-se a altura fixa de 20 centímetros. Os gráficos que apresentam os valores de área de aço calculados para cada caso foram gerados com o auxílio do software Excel.

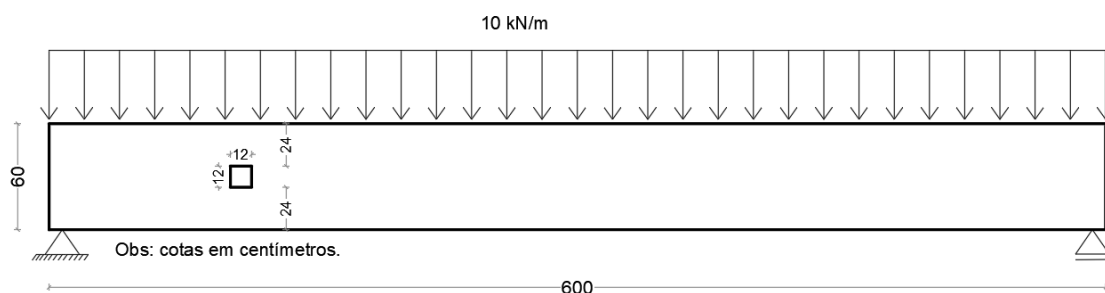
7 RESULTADOS

Como já mencionado anteriormente, a abertura será posicionada próxima ao apoio esquerdo, como pode ser observado na Figura 10. A distância dos furos utilizados em relação ao apoio também não obedece a condição apresentada na NBR 6118:2014, o que torna obrigatória a verificação e cálculo de suas armaduras de reforço.

7.1 CASO 01: ABERTURA DE 12cmx12cm

Esse caso, ilustrado na Figura 10, foi utilizado para analisar a situação de dimensões máximas estabelecidas pela NBR 6118:2014 para a dispensa de verificação, mantendo-se a face esquerda da abertura a 103 centímetros do apoio esquerdo.

Figura 10: Abertura de 12cmx12cm.

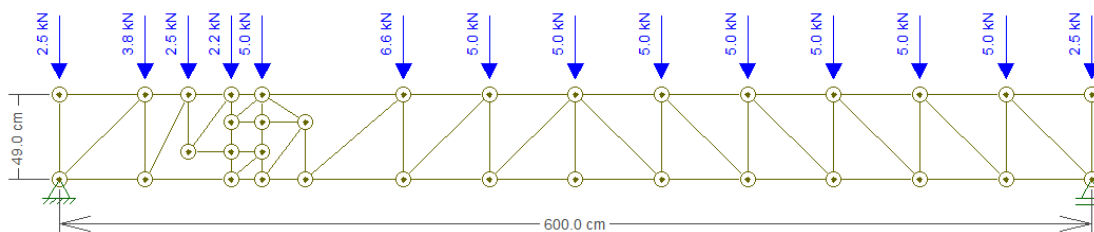


Fonte: Autor (2022)

7.1.1 MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO

A Figura 11 apresenta o modelo de bielas e tirantes utilizado para o cálculo das armaduras de reforço a serem posicionadas nas regiões das extremidades da abertura.

Figura 11: Modelo de bielas de tirantes para a abertura de 12cmx12cm.



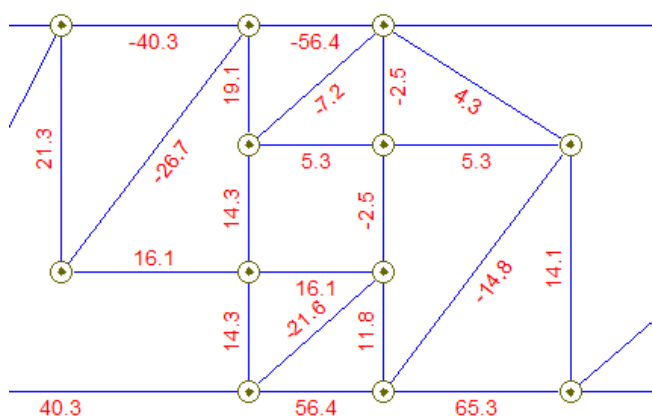
Fonte: Autor (2022)

O modelo segue a configuração proposta por Mansur (1999), com pequenas adaptações provenientes da diferença de dimensões da abertura. As cargas concentradas em cada nó são determinadas tomando-se uma área de influência para cada nó e levando-se em conta o carregamento total distribuído ao longo do comprimento da viga.

7.1.2 ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO

De acordo com o modelo disposto na Figura 11, obtém-se os esforços axiais no entorno da abertura apresentados na Figura 12.

Figura 12: Esforços axiais para a abertura de 12cmx12cm.



Fonte: Autor (2022)

7.1.2.1 ARMADURAS LONGITUDINAIS

- **Banzo superior: armadura da face superior**

Nessa situação, a força de compressão máxima é de 56,4 kN. Considerando que uma parcela desse esforço é resistida pelo concreto, conforme seção simétrica a este ponto na outra extremidade da viga, o esforço restante deve ser resistido por uma armadura de reforço. Sendo assim, o esforço que deve ser resistido pela armadura é de

$$56,4 - 51 = 5,4 \text{ kN}$$

Desse modo, sabendo a resistência característica do aço utilizado para as armaduras, a área correspondente às mesmas é dada por

$$A_s = \frac{5,4}{43,48} = 0,12 \text{ cm}^2$$

Para esta área de aço, uma barra de com 5 milímetros de diâmetro atenderia com folga. Diante disso, pode-se utilizar 2 barras de 5 milímetros para resistir à parcela excedente de compressão na face superior.

- **Banzo superior: armadura da face inferior**

Esta face está submetida a um esforço de tração máximo de 5,3 kN. A área de aço será

$$A_s = \frac{5,3}{43,48} = 0,12 \text{ cm}^2$$

Analogamente, pode-se utilizar duas barras de 5 milímetros como armadura de reforço longitudinal.

- **Banzo inferior: armadura da face superior**

O esforço de tração máximo é de 16,10 kN. Assim, a área de aço necessária para o reforço é de

$$A_s = \frac{16,10}{43,48} = 0,37 \text{ cm}^2$$

Usa-se duas barras de 5 milímetros na face superior do banzo inferior da abertura.

- **Banzo inferior: armadura da face inferior**

O esforço de tração máximo é de 56,4 kN. Logo, tem-se que

$$A_s = \frac{56,4}{43,48} = 1,30 \text{ cm}^2$$

Neste caso, duas barras de 10 milímetros são suficientes para resistir ao esforço solicitante.

7.1.2.2 ARMADURAS TRANSVERSAIS

- **Banzo superior**

Com o objetivo de manter o controle de fissuração na peça, o cálculo das armaduras transversais de reforço será feito considerando metade da resistência característica do aço CA-50, isto é, $f_{yk} = 250 \text{ MPa}$.

O esforço de tração máximo no banzo superior é de 19,10 kN. Desse modo, a área da armadura responsável por resistir aos esforços cisalhantes nessa região pode ser obtida da seguinte forma

$$\frac{A_v}{s} = \frac{19,10}{21,74} \cdot \frac{1}{0,18} = 4,88 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 8 centímetros.

- **Banzo inferior**

Para este banzo, o esforço cisalhante máximo é de $14,30 \text{ kN}$. Assim, a área de armadura será

$$\frac{A_v}{s} = \frac{14,30}{21,74} \cdot \frac{1}{0,18} = 3,65 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Nessa situação, pode-se usar estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento 10,70 centímetros.

7.1.3 ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA

Além das armaduras transversais anteriormente dimensionadas para cada banzo da abertura, deve-se dimensionar também armaduras responsáveis por resistir ao cisalhamento nas laterais da abertura. Nesse sentido, toma-se como referência os maiores esforços presentes nas barras localizadas à esquerda e à direita da abertura.

- **Lateral esquerda**

Conforme esforços obtidos na análise estrutural, tem-se para extremidade esquerda um esforço de $19,1 \text{ kN}$. Sendo assim, a área de aço necessária para resistir a esse esforço é de

$$A_s = \frac{19,1}{43,48} = 0,44 \text{ cm}^2$$

Para essa área de aço, usa-se dois estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro espaçados de forma que a concretagem não seja dificultada, obedecendo as exigências presentes na NBR 6118:2014.

- **Lateral direita**

Para a extremidade direita, tem-se um esforço cisalhante de $11,8 \text{ kN}$. Dessa forma, a área de aço será

$$A_s = \frac{11,80}{43,48} = 0,27cm^2$$

Usa-se um estribo de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro espaçados conforme mencionado para o lado esquerdo. Para os demais casos, o processo de cálculo acontece da mesma maneira, com a diferença de que os esforços obtidos a partir do modelo utilizado variam conforme a abertura. Nesse sentido, o procedimento de cálculo para os demais casos de abertura é detalhado no Apêndice A, sendo aqui apresentados somente os resultados obtidos através da aplicação do mesmo, conforme mostra a Figura 13.

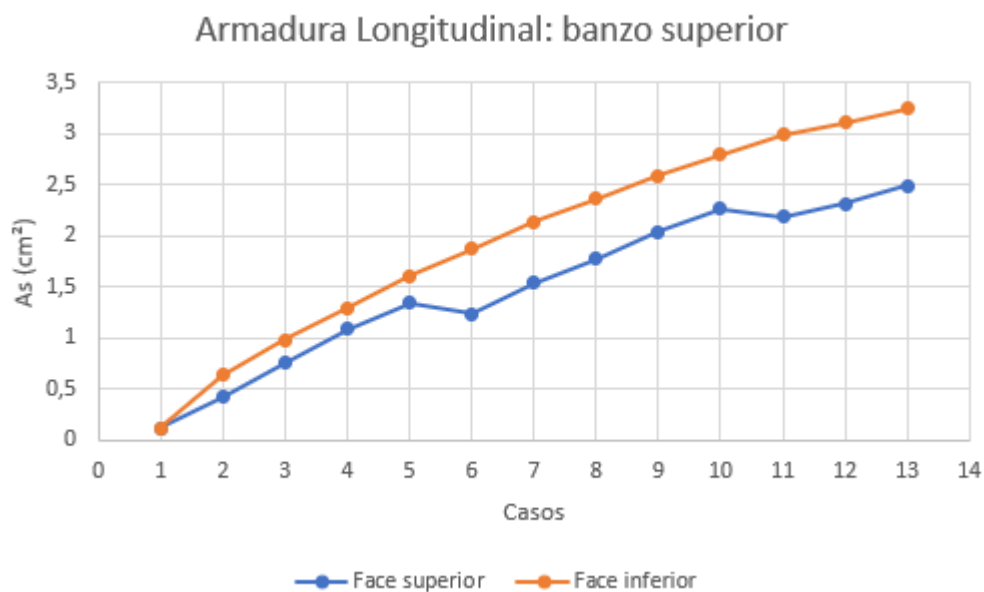
Figura 13: Armaduras de reforço para cada caso.

Caso	Armadura longitudinal				Armadura transversal (estribos 2R)		Armaduras laterais (estribos 2R)	
	Banzo superior		Banzo inferior		Banzo sup.	Banzo inf.	Esquerda	Direita
	face sup.	face inf.	face sup.	face inf.				
1	1 Ø 5	1 Ø 5	2 Ø 5	2 Ø 10	Ø 5 c/8	Ø 5 c/10,75	2 (2R) Ø 5	1 (2R) Ø 5
2	3 Ø 5	2 Ø 8	2 Ø 5	2 Ø 10	Ø 5 c/9,40	Ø 5 c/17,60	2 (2R) Ø 5	2 (2R) Ø 5
3	2 Ø 8	2 Ø 8	2 Ø 5	2 Ø 10	Ø 5 c/7,45	Ø 5 c/22,75	2 (2R) Ø 5	2 (2R) Ø 5
4	3 Ø 8	3 Ø 8	2 Ø 5	2 Ø 10	Ø 5 c/6,65	Ø 5 c/28	2 (2R) Ø 5	2 (2R) Ø 5
5	3 Ø 8	4 Ø 8	2 Ø 5	2 Ø 10	Ø 5 c/7,90	Ø 5 c/41,20	2 (2R) Ø 5	3 (2R) Ø 5
6	3 Ø 8	4 Ø 8	2 Ø 5	2 Ø 10	Ø 5 c/7,25	Ø 5 c/45,05	2 (2R) Ø 5	3 (2R) Ø 5
7	2 Ø 10	3 Ø 10	2 Ø 5	2 Ø 10	Ø 5 c/6,75	Ø 5 c/49,25	2 (2R) Ø 5	3 (2R) Ø 5
8	3 Ø 10	2 Ø 12,5	2 Ø 5	2 Ø 10	Ø 5 c/6,45	Ø 5 c/81,70	2 (2R) Ø 5	3 (2R) Ø 5
9	3 Ø 10	3 Ø 12,5	2 Ø 5	2 Ø 10	Ø 5 c/6,20	Ø 5 c/60,25	2 (2R) Ø 5	3 (2R) Ø 5
10	3 Ø 10	3 Ø 12,5	2 Ø 5	2 Ø 10	Ø 5 c/5,95	Ø 5 c/67	2 (2R) Ø 5	3 (2R) Ø 5
11	3 Ø 10	3 Ø 12,5	2 Ø 5	2 Ø 10	Ø 5 c/5,75	Ø 5 c/70,70	2 (2R) Ø 5	3 (2R) Ø 5
12	3 Ø 10	3 Ø 12,5	2 Ø 5	2 Ø 10	Ø 5 c/5,85	Ø 5 c/118,20	2 (2R) Ø 5	3 (2R) Ø 5
13	4 Ø 10	3 Ø 12,5	2 Ø 5	2 Ø 10	Ø 5 c/5,70	Ø 5 c/80,62	2 (2R) Ø 5	4 (2R) Ø 5

Fonte: Autor (2022)

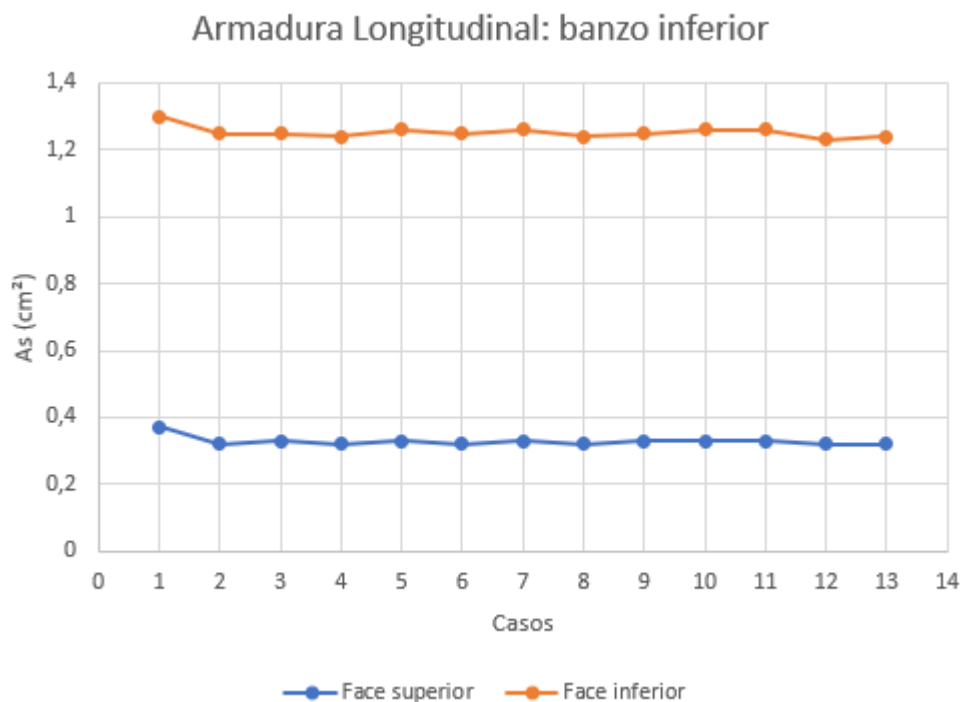
Os valores apresentados na Figura 13, no que se refere a diâmetros e espaçamentos, têm unidades de milímetros e centímetros, respectivamente. As Figuras 14, 15, 16 e 17 apresentam gráficos que ilustram a variação da área de aço de acordo com cada caso modelado.

Figura 14: Variação da área de aço no banzo superior.



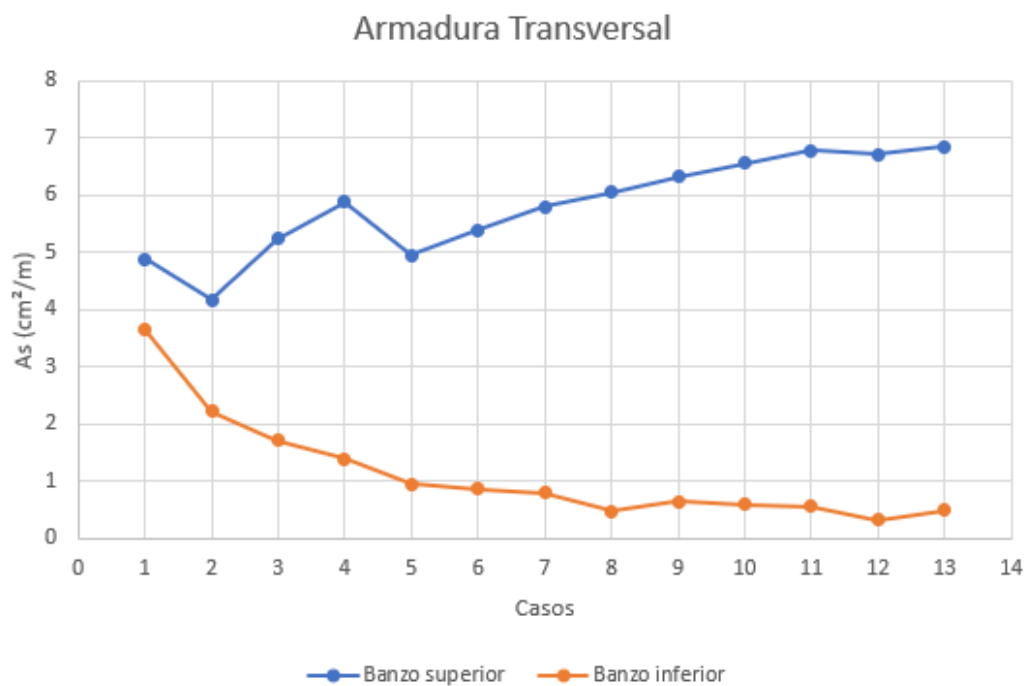
Fonte: Autor (2022)

Figura 15: Variação da área de aço no banzo inferior.



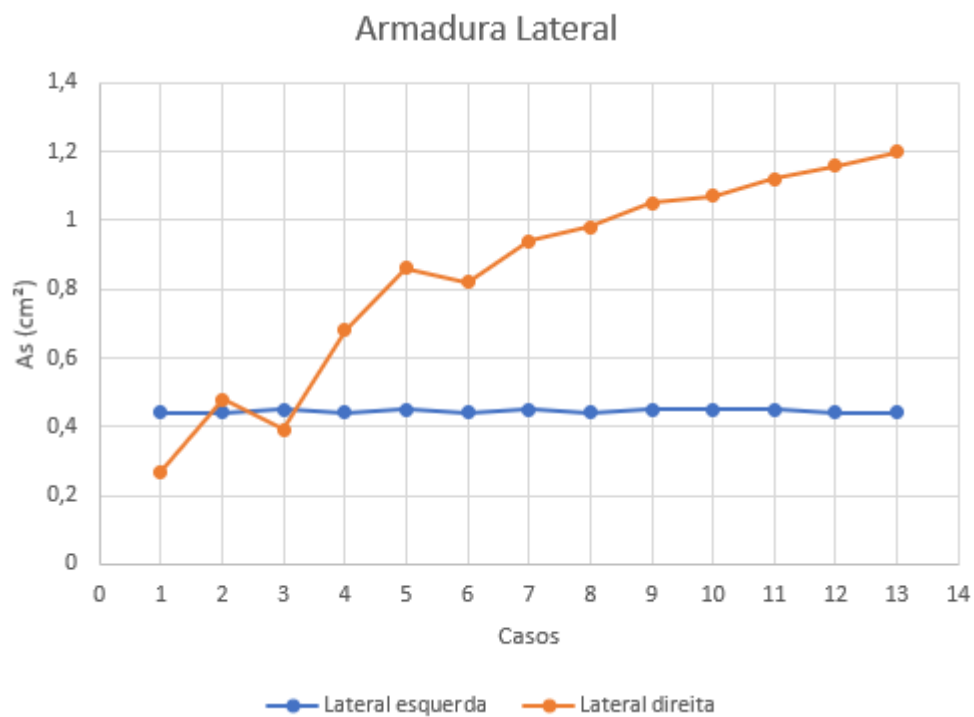
Fonte: Autor (2022)

Figura 16: Variação da armadura transversal.



Fonte: Autor (2022)

Figura 17: Variação da armadura lateral.



Fonte: Autor (2022)

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo como base as armaduras dimensionadas para cada caso de abertura percebe-se que, no que se refere às armaduras longitudinais de reforço, o banzo superior das aberturas apresenta maior variação de área de aço em suas duas faces principais, sendo que a maior variação ocorre na face inferior e corresponde a um aumento de 27 vezes a área de aço, usando-se como referência o primeiro e último caso. À medida que o comprimento da abertura aumenta, o esforço de compressão na biela da face superior aumenta de forma significativa, necessitando de uma armadura de compressão cada vez maior.

A armadura de compressão foi dimensionada devido a consideração de que a parcela de resistência do concreto à compressão na região de descontinuidade corresponde ao esforço resistido pelo mesmo na seção simétrica a esta, tendo como ponto de referência o centro do vão. Diante disso, a verificação de aberturas em vigas é importante em casos que não atendem as especificações da NBR 6118:2014, visto que o dimensionamento utilizando o método de bielas e tirantes mostrou a necessidade de armaduras de reforço nessas regiões, evidenciando também que, em casos de aberturas maiores, a área de aço a ser utilizada pode indicar o uso de armaduras com diâmetro acima de 8 milímetros, o que possivelmente não seria levado em conta em um simples dimensionamento à flexão.

Quanto ao banzo inferior, esse não apresentou variação de armaduras longitudinais conforme o comprimento da abertura aumenta, mantendo-se com esforços menores e aproximadamente constantes. De modo geral, as adequações do modelo de bielas e tirantes realizadas devido aos diferentes tamanhos de abertura podem ter gerado variações de esforços de forma desproporcional em alguns casos, visto que a inclinação das bielas presentes na região da abertura varia de acordo com o caso em análise.

No que diz respeito às armaduras transversais, sejam elas localizadas em cada banzo ou as dispostas nas laterais das aberturas, não se verifica variação significativa nas armaduras necessárias. Essa afirmação pode ser comprovada considerando que, para as armaduras transversais do banzo superior, estribos de dois ramos espaçados a cada 5 centímetros atendem a todos os casos abordados. Os

espaçamentos adotados nos diferentes casos correspondem ao espaçamento imediatamente inferior ao calculado, sem levar em consideração a dificuldade de execução na prática.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Caio Cesar Pereira de. **Dimensionamento de estruturas especiais de concreto armado pelo método de bielas e tirantes**. 2018. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

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

BORGES, Julian Alves. **Otimização topológica para modelos de bielas e tirantes em estruturas de concreto armado**. 2022. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022

DEMETRIO, Karolayne da Silva; AGUIAR, Caio Cesar Pereira de. **Dimensionamento de Vigas de Concreto Armado com Abertura pelo Método de Bielas e Tirantes**. XII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas (CBPE), 2021.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

MANSUR, MA; TAN, Kiang-Hwee. **Concrete Beams with Openings: Analysis and Design**. CRC Press, 1999.

MOREIRA, Maria Araujo et al. **análise experimental e teórica em vigas de concreto armado com furos na alma**. Essentia-Revista de Cultura, Ciência e Tecnologia da UVA, v. 20, n. 2, 2019.

SANTOS, Daniel dos. **Análise de vigas de concreto armado utilizando modelos de bielas e tirantes**. 2006. 195 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SANTOS, Victor Mark Pontes dos. **Análise de confiabilidade em modelos de bielas e tirantes**. 2014. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

SATO, Henrique Towata. **Dimensionamento de regiões D através do método dos elementos finitos e do método de bielas e tirantes aliado à otimização topológica**. 2015. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

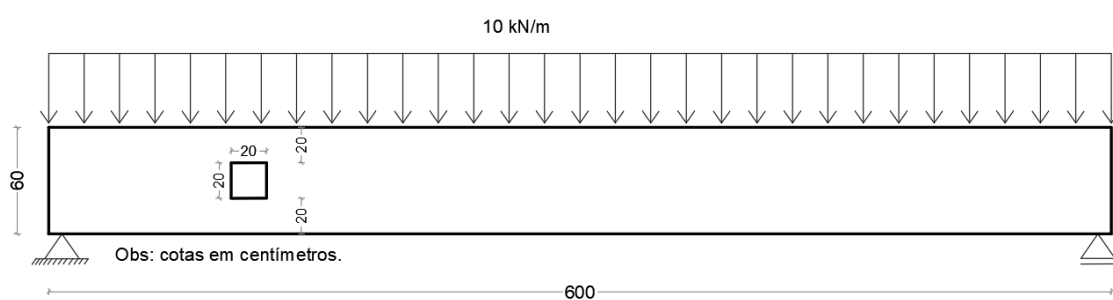
SILVA, Ricardo José Carvalho; MOREIRA, José Fabiano Araújo; VALE, Rodrigo Farias do. **Análise do modelo de bielas e tirantes para vigas de concreto armado com furo**. Essentia-Revista de Cultura, Ciência e Tecnologia da UVA, v. 15, n. 2, 2014.

SIMÃO, D. W. G. **Análise e dimensionamento de vigas de concreto armado com abertura na alma**. 99 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru: [s.n], 2014. Acesso em: 28 de julho de 2022.

APÊNDICE A – DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS DE REFORÇO

CASO 02: ABERTURA DE 20cmx20cm

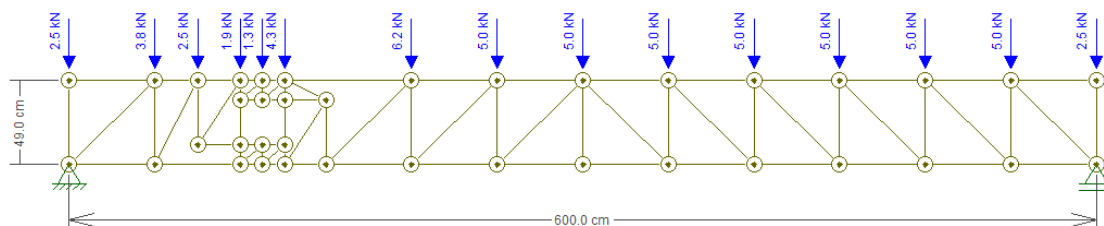
Figura 18: Abertura de 20cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO

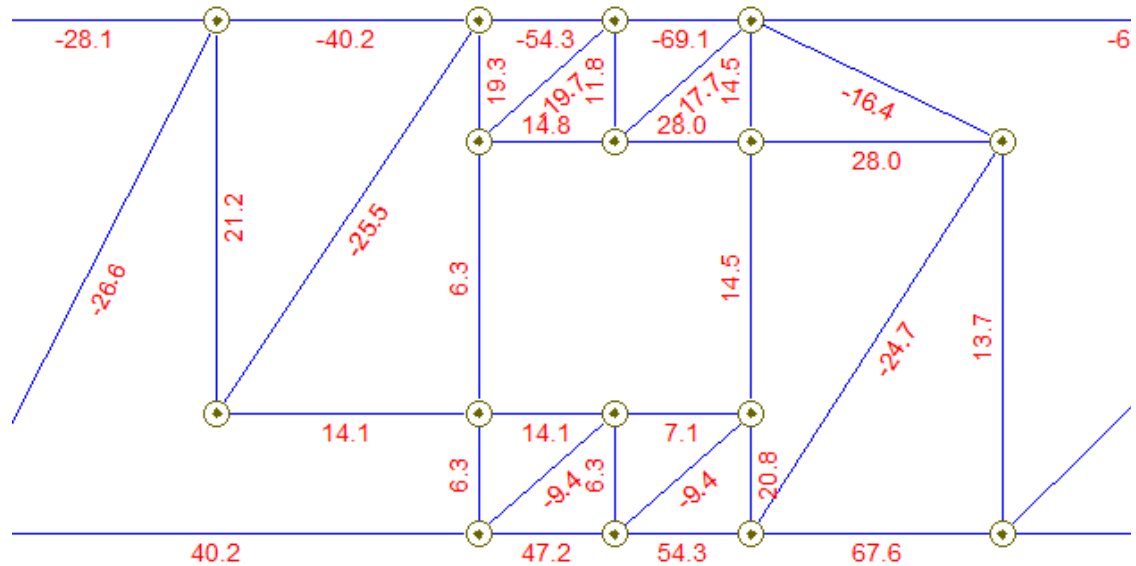
Figura 19: Modelo de bielas de tirantes para a abertura de 20cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO

Figura 20: Esforços axiais para a abertura de 20cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ARMADURAS LONGITUDINAIS

- **Banzo superior: armadura da face superior**

A força de compressão máxima é de 69,10 kN. Sendo assim, o esforço que deve ser resistido pela armadura é de

$$69,10 - 51 = 18,10 \text{ kN}$$

Desse modo, sabendo a resistência característica do aço utilizado para as armaduras, a área correspondente às mesmas é dada por

$$A_s = \frac{18,10}{43,48} = 0,42 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 barras com 5 milímetros de diâmetro.

- **Banzo superior: armadura da face inferior**

Esta face está submetida a um esforço de tração máximo de 28 kN . A área de aço será

$$A_s = \frac{28}{43,48} = 0,64 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com 8 milímetros de diâmetro.

- **Banzo inferior: armadura da face superior**

O esforço de tração máximo é de $14,10 \text{ kN}$. Assim, a área de aço necessária para o reforço é de

$$A_s = \frac{14,10}{43,48} = 0,32 \text{ cm}^2$$

Usa-se duas barras com diâmetro de 5 milímetros.

- **Banzo inferior: armadura da face inferior**

O esforço de tração máximo é de $54,30 \text{ kN}$. Logo, tem-se que

$$A_s = \frac{54,30}{43,48} = 1,25 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com 10 milímetros de diâmetro.

ARMADURAS TRANSVERSAIS

- **Banzo superior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa}.$$

$$s_{\text{tirantesinternos}} = 13 \text{ cm}$$

O esforço de tração máximo no banzo superior é de $11,80 \text{ kN}$.

$$\frac{A_v}{s} = \frac{11,80}{21,74} \cdot \frac{1}{0,13} = 4,18 \frac{cm^2}{m}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 9,40 centímetros.

- **Banzo inferior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa}.$$

$$s_{tirantesinternos} = 13 \text{ cm}$$

O esforço cisalhante máximo é de 6,30 kN. Assim, a área de armadura será

$$\frac{A_v}{s} = \frac{6,30}{21,74} \cdot \frac{1}{0,13} = 2,23 \frac{cm^2}{m}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 17,60 centímetros.

ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA

- **Lateral esquerda**

Tem-se um esforço de 19,3 kN. Sendo assim, a área de aço necessária para resistir a esse esforço é de

$$A_s = \frac{19,3}{43,48} = 0,44 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

- **Lateral direita**

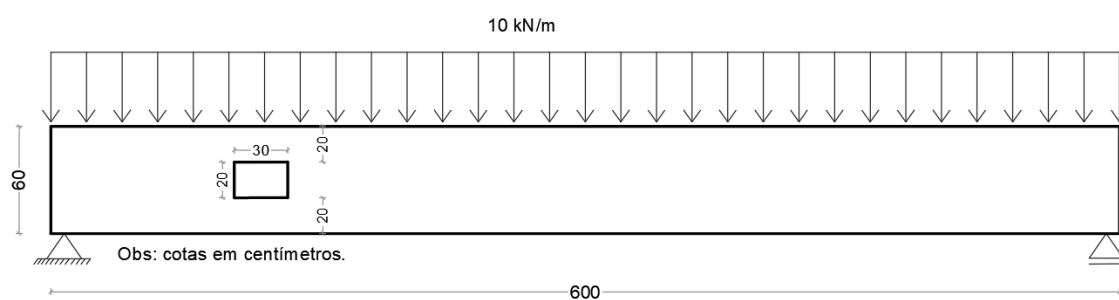
Tem-se um esforço cisalhante de 20,80 kN. Dessa forma, a área de aço será

$$A_s = \frac{20,80}{43,48} = 0,48 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

CASO 03: ABERTURA DE 30cmx20cm

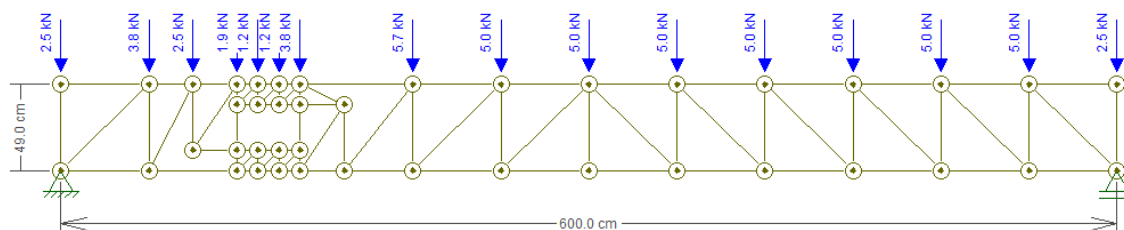
Figura 21: Abertura de 30cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO

Figura 22: Modelo de bielas de tirantes para a abertura de 30cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

- **Banzo superior: armadura da face inferior**

Esta face está submetida a um esforço de tração máximo de $42,80 \text{ kN}$. A área de aço será

$$A_s = \frac{42,80}{43,48} = 0,98 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com 8 milímetros de diâmetro.

- **Banzo inferior: armadura da face superior**

O esforço de tração máximo é de $14,20 \text{ kN}$. Assim, a área de aço necessária para o reforço é de

$$A_s = \frac{14,20}{43,48} = 0,33 \text{ cm}^2$$

Usa-se duas barras com diâmetro de 5 milímetros.

- **Banzo inferior: armadura da face inferior**

O esforço de tração máximo é de $54,40 \text{ kN}$. Logo, tem-se que

$$A_s = \frac{54,40}{43,48} = 1,25 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com 10 milímetros de diâmetro.

ARMADURAS TRANSVERSAIS

- **Banzo superior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa}.$$

$$s_{\text{tirantesinternos}} = 12 \text{ cm}$$

O esforço de tração máximo é de $13,70 \text{ kN}$.

$$\frac{A_v}{s} = \frac{13,70}{21,74} \cdot \frac{1}{0,12} = 5,25 \frac{cm^2}{m}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 7,45 centímetros.

- **Banzo inferior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa.}$$

$$s_{tirantesinternos} = 12 \text{ cm}$$

O esforço cisalhante máximo é de 4,50 kN. Assim, a área de armadura será

$$\frac{A_v}{s} = \frac{4,50}{21,74} \cdot \frac{1}{0,12} = 1,72 \frac{cm^2}{m}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 22,75 centímetros.

ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA

- **Lateral esquerda**

$$N_{sd} = 19,40 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{19,40}{43,48} = 0,45 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

- **Lateral direita**

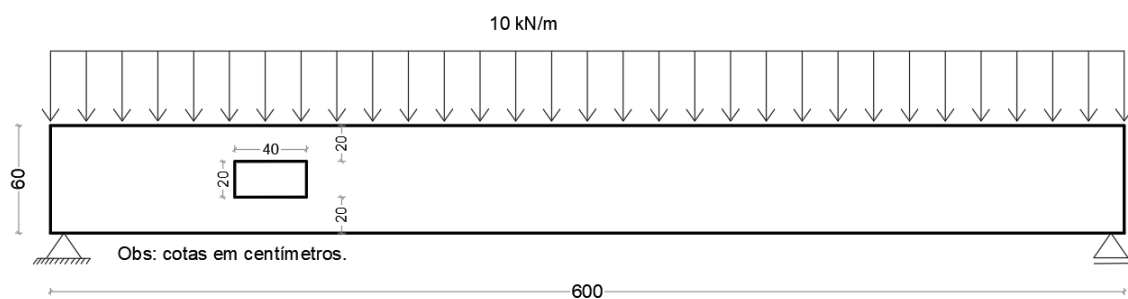
$$N_{sd} = 20,60 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{20,60}{43,48} = 0,47 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

CASO 04: ABERTURA DE 40cmx20cm

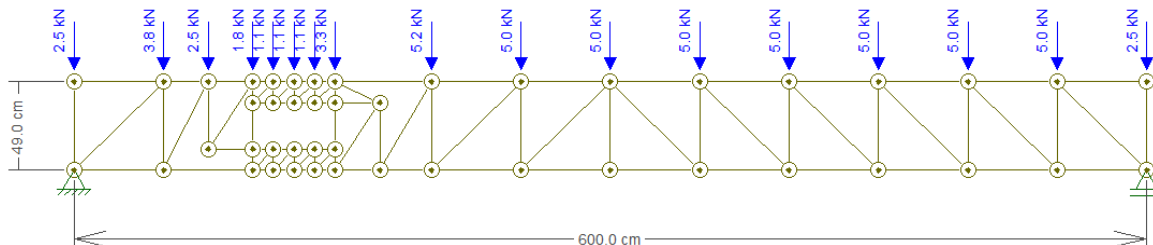
Figura 24: Abertura de 40cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO

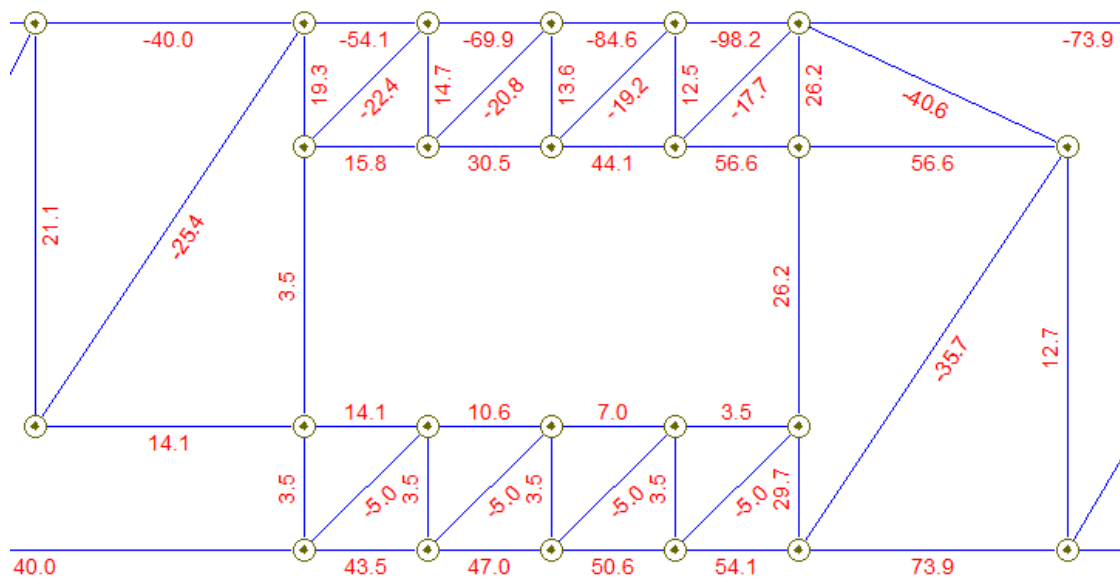
Figura 25: Modelo de bielas de tirantes para a abertura de 40cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO

Figura 26: Esforços axiais para a abertura de 40cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ARMADURAS LONGITUDINAIS

- **Banzo superior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 98,20 \text{ kN}$$

$$98,20 - 51 = 47,20 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{47,20}{43,48} = 1,09 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 barras com 8 milímetros de diâmetro.

- **Banzo superior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 56,60 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{56,60}{43,48} = 1,30 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 barras com 8 milímetros de diâmetro.

- **Banzo inferior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 14,10 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{14,10}{43,48} = 0,32 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com diâmetro de 5 milímetros.

- **Banzo inferior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 54,10 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{54,10}{43,48} = 1,24 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com 10 milímetros de diâmetro.

ARMADURAS TRANSVERSAIS

- **Banzo superior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa.}$$

$$s_{tirantesinternos} = 11,50 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 14,70 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{14,70}{21,74} \cdot \frac{1}{0,115} = 5,88 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 6,65 centímetros.

- **Banzo inferior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa.}$$

$$s_{tirantesinternos} = 12 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 3,50 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{3,50}{21,74} \cdot \frac{1}{0,115} = 1,40 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 28 centímetros.

ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA

- **Lateral esquerda**

$$N_{sd} = 19,30 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{19,30}{43,48} = 0,44 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

- **Lateral direita**

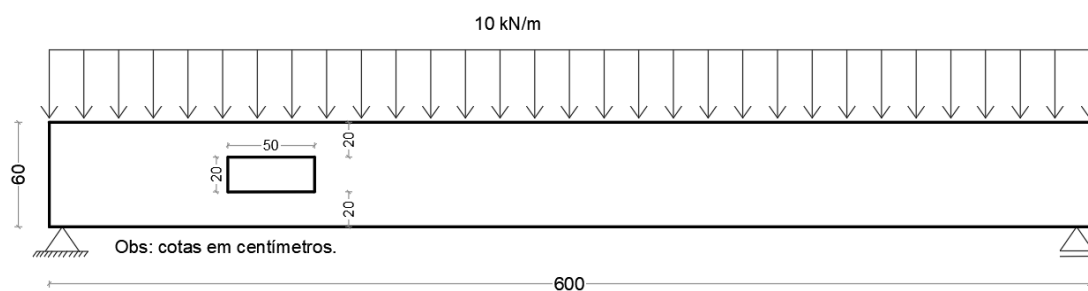
$$N_{sd} = 29,70 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{29,90}{43,48} = 0,68 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

CASO 05: ABERTURA DE 50cmx20cm

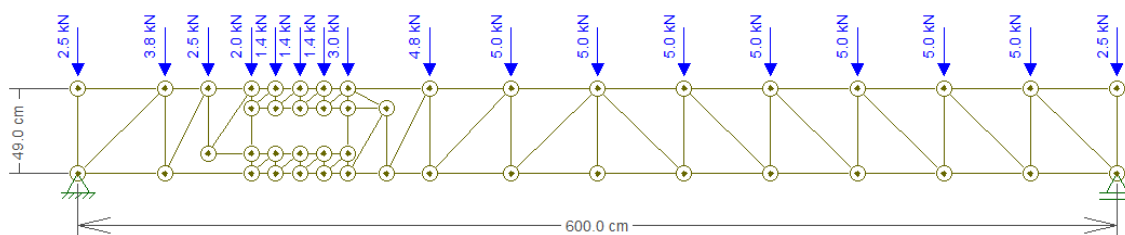
Figura 27: Abertura de 50cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO

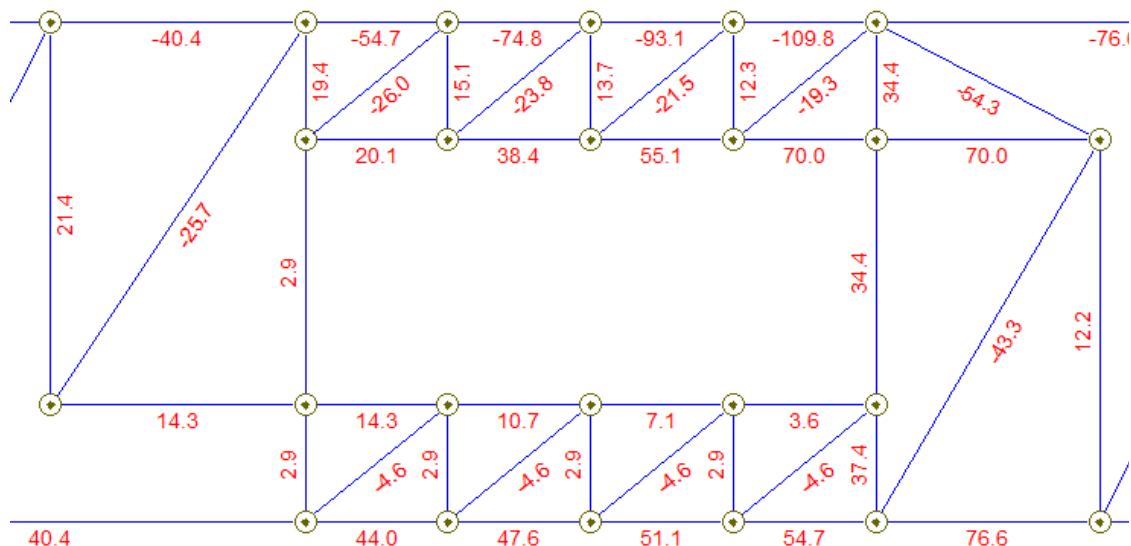
Figura 28: Modelo de bielas de tirantes para a abertura de 50cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO

Figura 29: Esforços axiais para a abertura de 50cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ARMADURAS LONGITUDINAIS

- **Banzo superior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 109,80 \text{ kN}$$

$$109,80 - 51,20 = 58,60 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{58,60}{43,48} = 1,35 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 barras com 8 milímetros de diâmetro.

- **Banzo superior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 70 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{70}{43,48} = 1,61 \text{ cm}^2$$

Usa-se 4 barras com 8 milímetros de diâmetro.

- **Banzo inferior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 14,30 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{14,30}{43,48} = 0,33 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com diâmetro de 5 milímetros.

- **Banzo inferior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 54,70 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{54,70}{43,48} = 1,26 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com 10 milímetros de diâmetro.

ARMADURAS TRANSVERSAIS

- **Banzo superior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa.}$$

$$s_{tirantesinternos} = 14 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 15,10 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{15,10}{21,74} \cdot \frac{1}{0,14} = 4,96 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 7,90 centímetros.

- **Banzo inferior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa.}$$

$$s_{tirantesinternos} = 14 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 2,90 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{2,90}{21,74} \cdot \frac{1}{0,14} = 0,95 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 41,20 centímetros.

ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA

- **Lateral esquerda**

$$N_{sd} = 19,40 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{19,40}{43,48} = 0,45 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

- **Lateral direita**

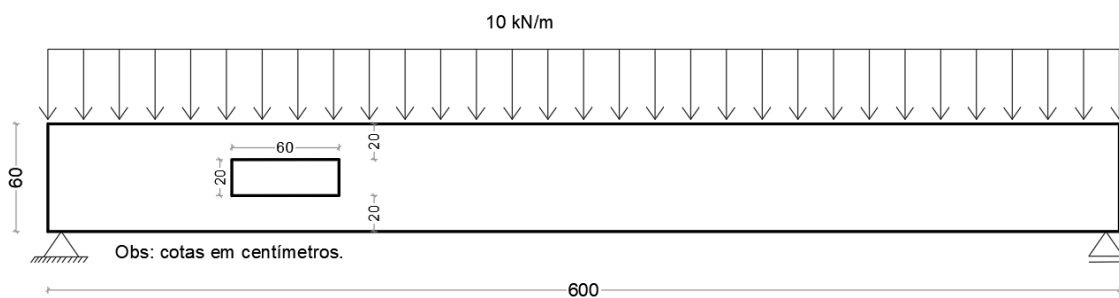
$$N_{sd} = 37,40 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{37,40}{43,48} = 0,86 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

CASO 06: ABERTURA DE 60cmx20cm

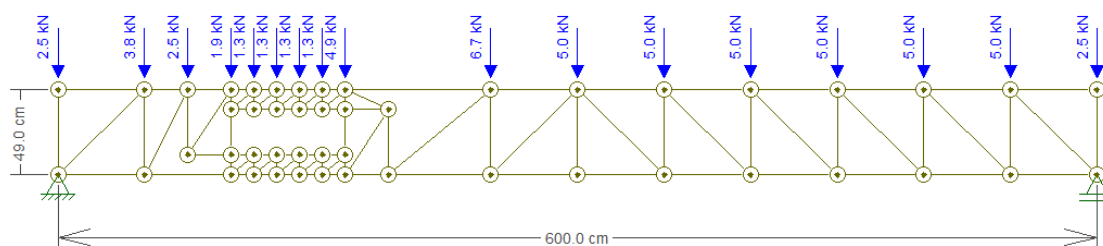
Figura 30: Abertura de 60cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO

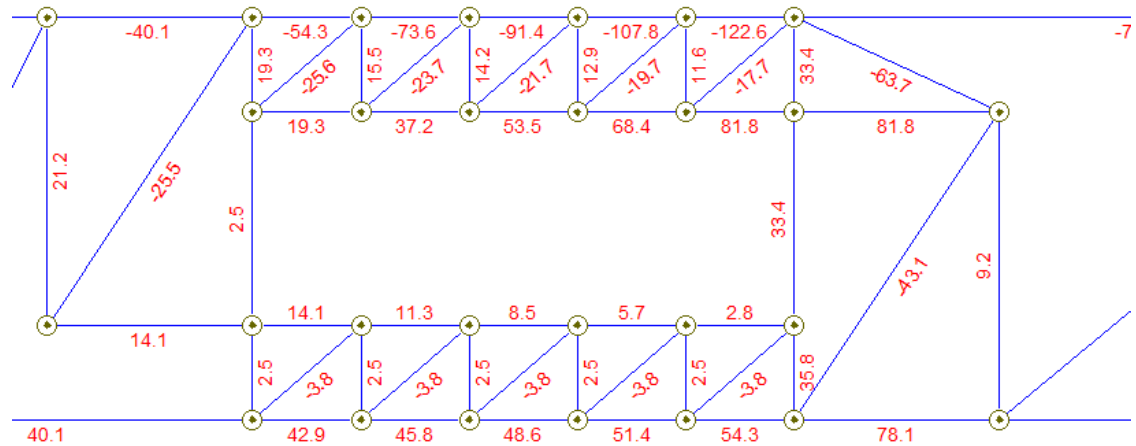
Figura 31: Modelo de bielas de tirantes para a abertura de 60cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO

Figura 32: Esforços axiais para a abertura de 60cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ARMADURAS LONGITUDINAIS

- **Banzo superior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 122,60 \text{ kN}$$

$$122,60 - 68,90 = 53,70 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{53,70}{43,48} = 1,24 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 barras com 8 milímetros de diâmetro.

- **Banzo superior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 81,80 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{81,80}{43,48} = 1,88 \text{ cm}^2$$

Usa-se 4 barras com 8 milímetros de diâmetro.

- **Banzo inferior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 14,10 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{14,10}{43,48} = 0,32 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com diâmetro de 5 milímetros.

- **Banzo inferior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 54,30 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{54,30}{43,48} = 1,25 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com 10 milímetros de diâmetro.

ARMADURAS TRANSVERSAIS

- **Banzo superior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa.}$$

$$s_{tirantesinternos} = 13,20 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 15,50 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{15,50}{21,74} \cdot \frac{1}{0,132} = 5,40 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 7,25 centímetros.

- **Banzo inferior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa.}$$

$$s_{tirantesinternos} = 13,20 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 2,50 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{2,50}{21,74} \cdot \frac{1}{0,132} = 0,87 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 45 centímetros.

ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA

- **Lateral esquerda**

$$N_{sd} = 19,30 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{19,30}{43,48} = 0,44 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

- **Lateral direita**

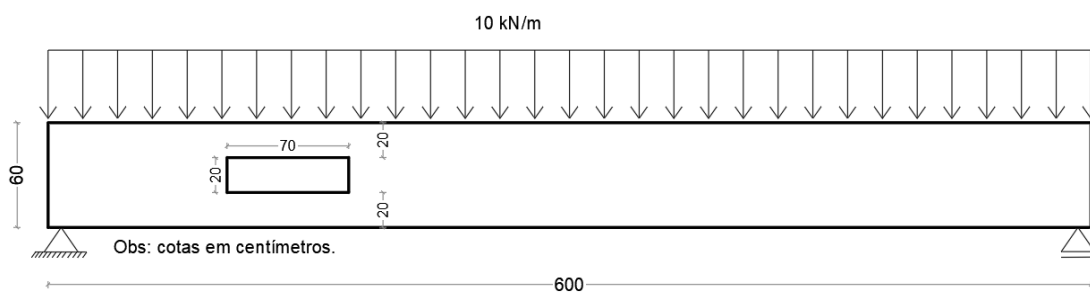
$$N_{sd} = 35,80 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{35,80}{43,48} = 0,82 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

CASO 07: ABERTURA DE 70cmx20cm

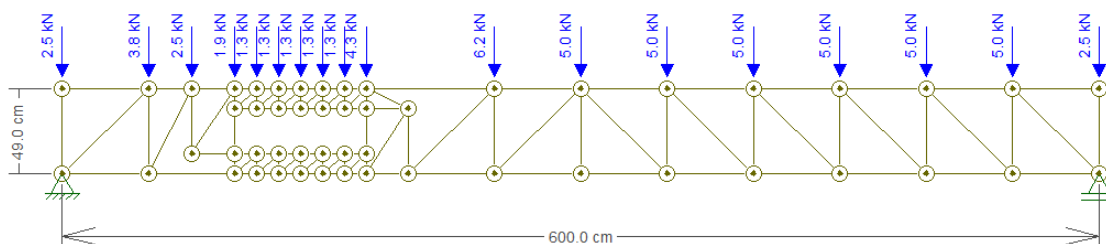
Figura 33: Abertura de 70cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO

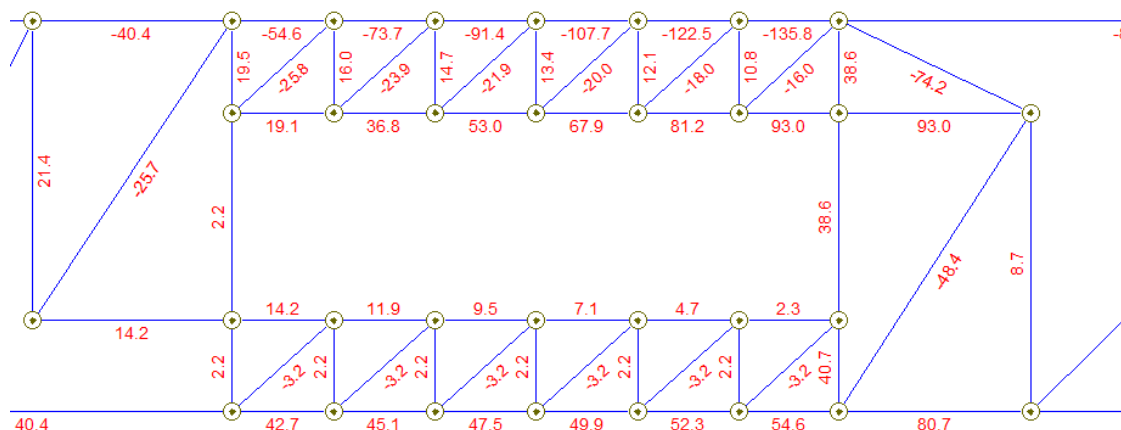
Figura 34: Modelo de bielas de tirantes para a abertura de 70cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO

Figura 35: Esforços axiais para a abertura de 70cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ARMADURAS LONGITUDINAIS

- **Banzo superior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 135,80 \text{ kN}$$

$$135,80 - 69 = 66,80 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{66,80}{43,48} = 1,54 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com 10 milímetros de diâmetro.

- **Banzo superior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 93 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{93}{43,48} = 2,14 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 barras com 10 milímetros de diâmetro.

- **Banzo inferior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 14,20 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{14,20}{43,48} = 0,33 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com diâmetro de 5 milímetros.

- **Banzo inferior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 54,60 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{54,60}{43,48} = 1,26 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com 10 milímetros de diâmetro.

ARMADURAS TRANSVERSAIS

- **Banzo superior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa.}$$

$$s_{tirantesinternos} = 12,70 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 16 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{16}{21,74} \cdot \frac{1}{0,127} = 5,80 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 6,75 centímetros.

- **Banzo inferior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa}.$$

$$s_{tirantesinternos} = 12,70 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 2,20 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{2,20}{21,74} \cdot \frac{1}{0,127} = 0,80 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 49,25 centímetros.

ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA

- **Lateral esquerda**

$$N_{sd} = 19,50 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{19,50}{43,48} = 0,45 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

- **Lateral direita**

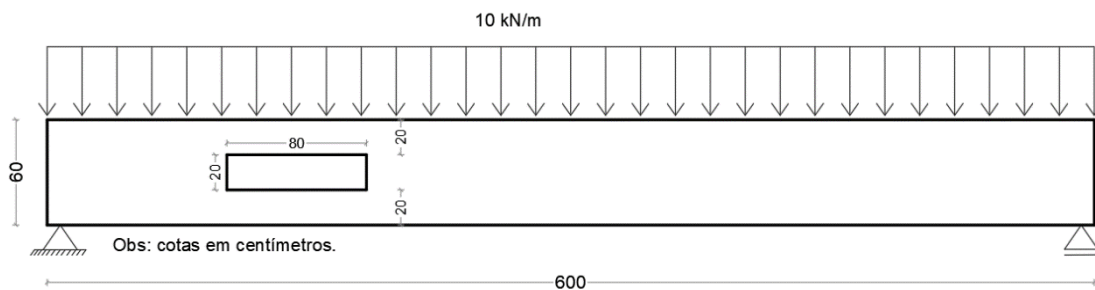
$$N_{sd} = 40,70 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{40,70}{43,48} = 0,94 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

CASO 08: ABERTURA DE 80cmx20cm

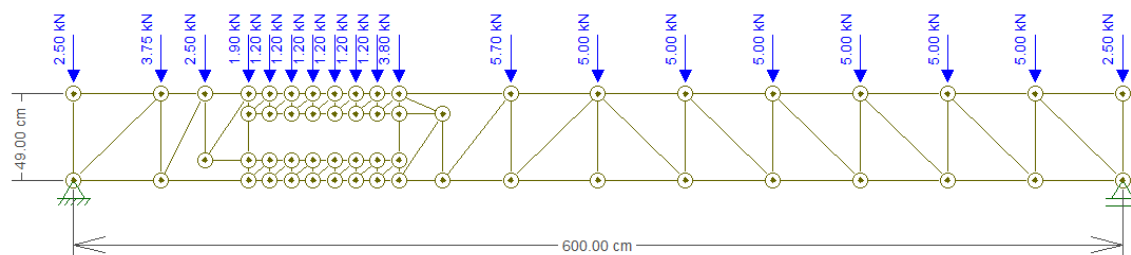
Figura 36: Abertura de 80cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO

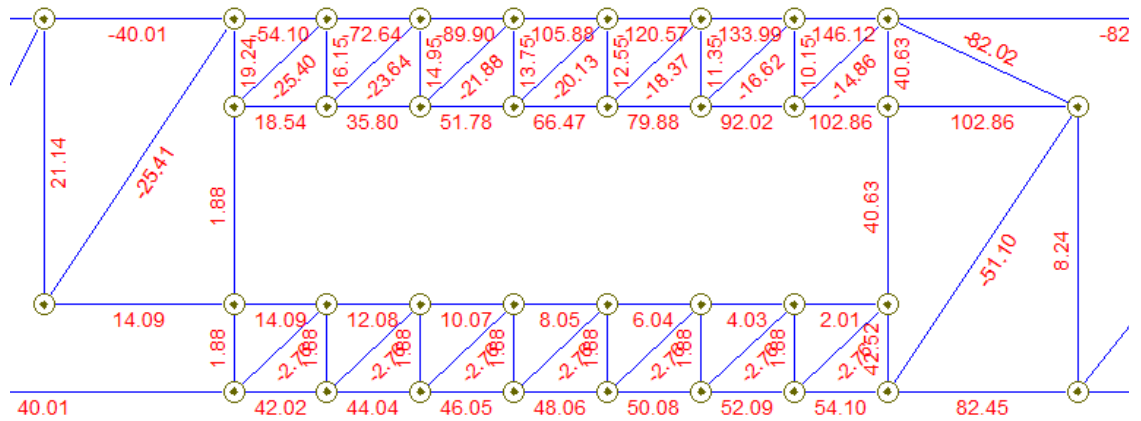
Figura 37: Modelo de bielas de tirantes para a abertura de 80cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO

Figura 38: Esforços axiais para a abertura de 80cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ARMADURAS LONGITUDINAIS

- **Banzo superior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 146,12 \text{ kN}$$

$$146,12 - 68,76 = 77,36 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{77,36}{43,48} = 1,78 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 barras com 10 milímetros de diâmetro.

- **Banzo superior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 102,86 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{102,86}{43,48} = 2,37 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com 12,50 milímetros de diâmetro.

- **Banzo inferior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 14,09 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{14,09}{43,48} = 0,32 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com diâmetro de 5 milímetros.

- **Banzo inferior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 54,10 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{54,10}{43,48} = 1,24 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com 10 milímetros de diâmetro.

ARMADURAS TRANSVERSAIS

- **Banzo superior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa.}$$

$$s_{tirantesinternos} = 12,30 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 16,15 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{16,15}{21,74} \cdot \frac{1}{0,123} = 6,05 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 6,45 centímetros.

- **Banzo inferior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa.}$$

$$s_{tirantesinternos} = 12,30 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 1,88 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{1,88}{21,74} \cdot \frac{1}{0,123} = 0,48 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 81,70 centímetros.

ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA

- **Lateral esquerda**

$$N_{sd} = 19,24 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{19,24}{43,48} = 0,44 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

- **Lateral direita**

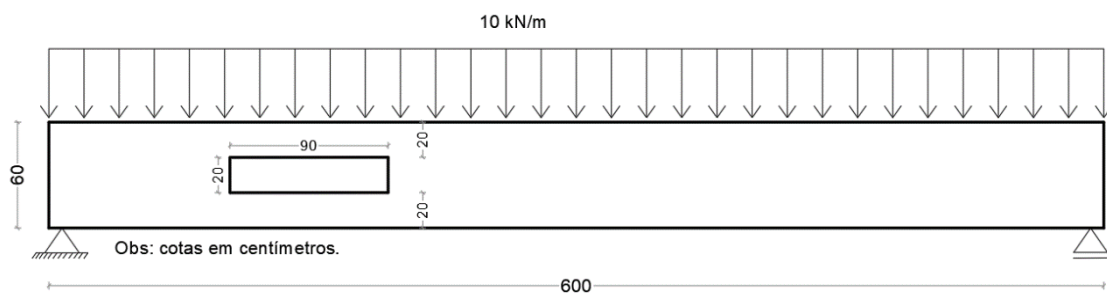
$$N_{sd} = 42,52 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{40,52}{43,48} = 0,98 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

CASO 09: ABERTURA DE 90cmx20cm

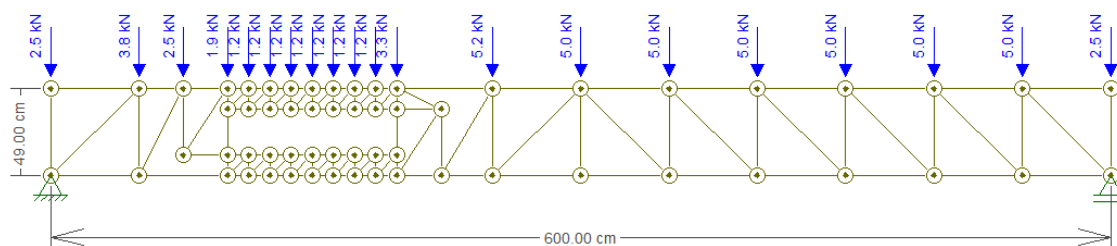
Figura 39: Abertura de 90cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO

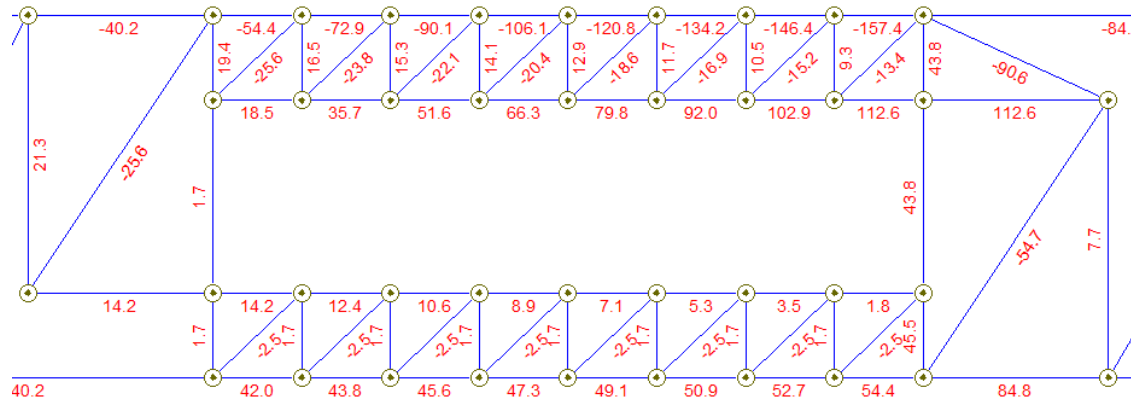
Figura 40: Modelo de bielas de tirantes para a abertura de 90cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO

Figura 41: Esforços axiais para a abertura de 90cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ARMADURAS LONGITUDINAIS

- **Banzo superior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 157,40 \text{ kN}$$

$$157,40 - 68,90 = 88,50 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{88,50}{43,48} = 2,04 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 barras com 10 milímetros de diâmetro.

- **Banzo superior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 112,60 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{112,60}{43,48} = 2,59 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 barras com 12,50 milímetros de diâmetro.

- **Banzo inferior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 14,20 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{14,20}{43,48} = 0,33 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com diâmetro de 5 milímetros.

- **Banzo inferior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 54,40 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{54,40}{43,48} = 1,25 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com 10 milímetros de diâmetro.

ARMADURAS TRANSVERSAIS

- **Banzo superior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa.}$$

$$s_{tirantesinternos} = 12 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 16,50 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{16,50}{21,74} \cdot \frac{1}{0,12} = 6,32 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 6,20 centímetros.

- **Banzo inferior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa.}$$

$$s_{tirantesinternos} = 12 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 1,70 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{1,70}{21,74} \cdot \frac{1}{0,12} = 0,65 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 60,25 centímetros.

ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA

- **Lateral esquerda**

$$N_{sd} = 19,40 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{19,40}{43,48} = 0,45 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

- **Lateral direita**

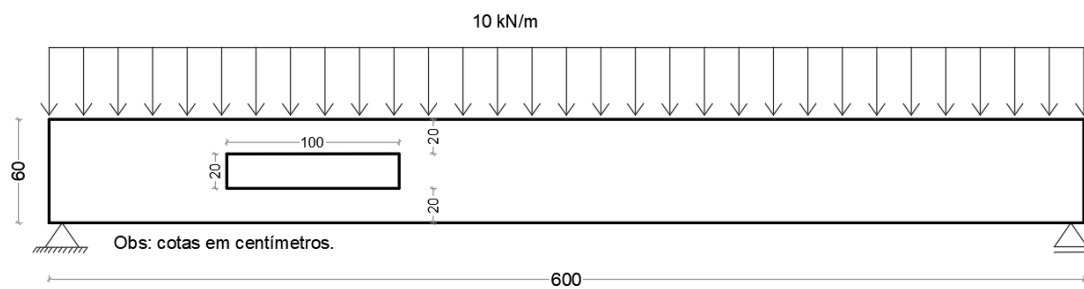
$$N_{sd} = 45,50 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{45,50}{43,48} = 1,05 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

CASO 10: ABERTURA DE 100cmx20cm

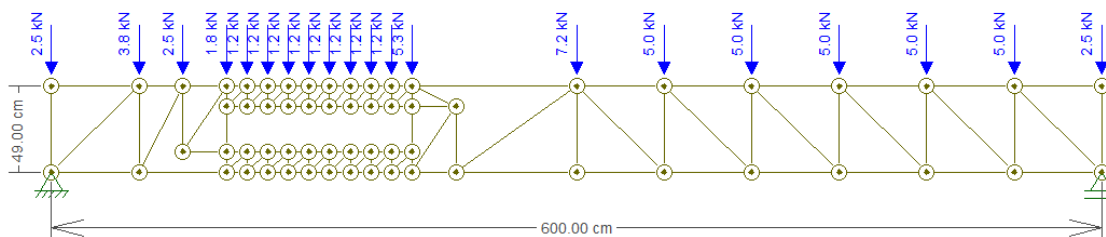
Figura 42: Abertura de 100cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO

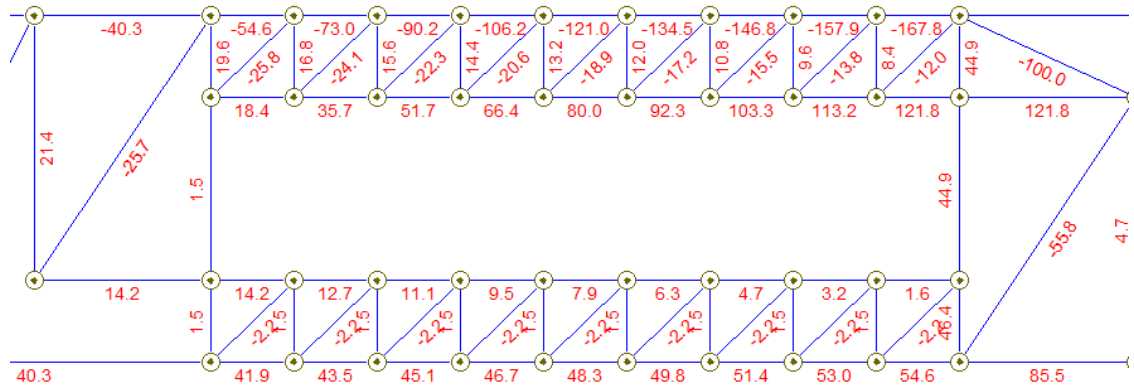
Figura 43: Modelo de bielas de tirantes para a abertura de 100cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO

Figura 44: Esforços axiais para a abertura de 100cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ARMADURAS LONGITUDINAIS

- **Banzo superior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 167,80 \text{ kN}$$

$$167,80 - 69 = 98,80 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{98,80}{43,48} = 2,27 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 barras com 10 milímetros de diâmetro.

- **Banzo superior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 121,80 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{121,80}{43,48} = 2,80 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 barras com 12,50 milímetros de diâmetro.

- **Banzo inferior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 14,20 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{14,20}{43,48} = 0,33 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com diâmetro de 5 milímetros.

- **Banzo inferior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 54,60 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{54,60}{43,48} = 1,26 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com 10 milímetros de diâmetro.

ARMADURAS TRANSVERSAIS

- **Banzo superior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa.}$$

$$s_{tirantesinternos} = 11,79 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 16,80 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{16,80}{21,74} \cdot \frac{1}{0,1179} = 6,56 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 5,95 centímetros.

- **Banzo inferior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa.}$$

$$S_{tirantesinternos} = 11,79 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 1,50 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{1,50}{21,74} \cdot \frac{1}{0,1179} = 0,59 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 67 centímetros.

ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA

- **Lateral esquerda**

$$N_{sd} = 19,60 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{19,60}{43,48} = 0,45 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

- **Lateral direita**

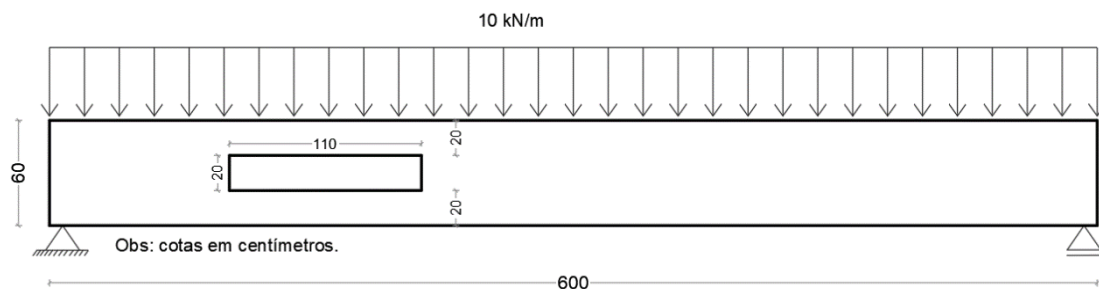
$$N_{sd} = 46,40 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{46,40}{43,48} = 1,07 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

CASO 11: ABERTURA DE 110cmx20cm

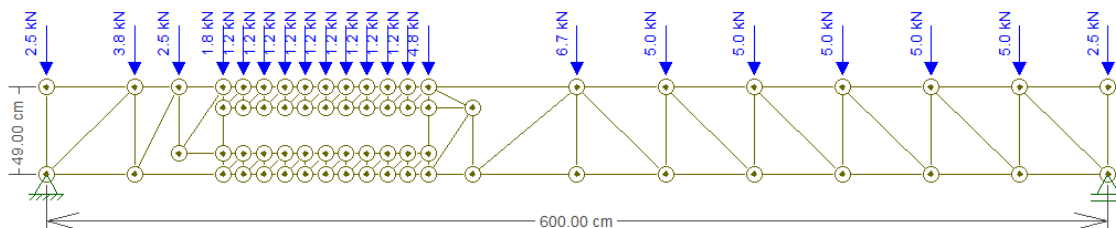
Figura 45: Abertura de 110cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO

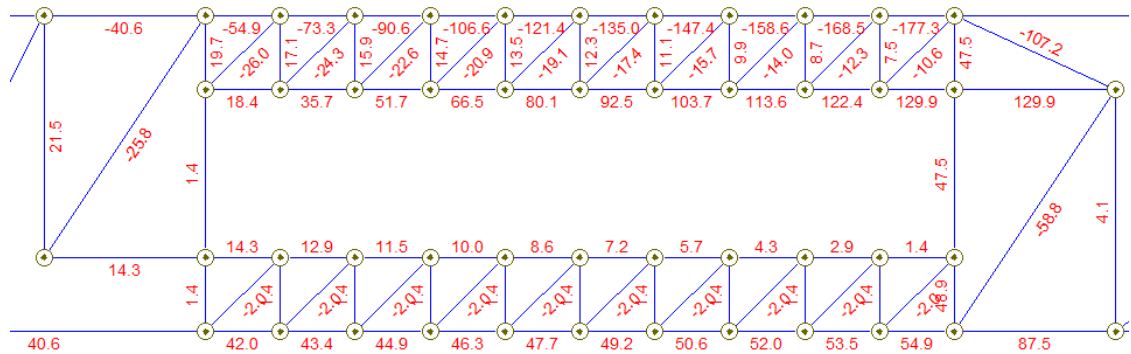
Figura 46: Modelo de bielas de tirantes para a abertura de 110cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO

Figura 47: Esforços axiais para a abertura de 110cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ARMADURAS LONGITUDINAIS

- **Banzo superior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 177,30 \text{ kN}$$

$$177,30 - 82 = 95,30 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{95,30}{43,48} = 2,19 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 barras com 10 milímetros de diâmetro.

- **Banzo superior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 129,90 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{129,90}{43,48} = 2,99 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 barras com 12,50 milímetros de diâmetro.

- **Banzo inferior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 14,30 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{14,30}{43,48} = 0,33 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com diâmetro de 5 milímetros.

- **Banzo inferior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 54,90 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{54,90}{43,48} = 1,26 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com 10 milímetros de diâmetro.

ARMADURAS TRANSVERSAIS

- **Banzo superior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa.}$$

$$S_{tirantesinternos} = 11,60 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 17,10 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{17,10}{21,74} \cdot \frac{1}{0,1160} = 6,78 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 5,75 centímetros.

- **Banzo inferior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa}.$$

$$s_{tirantesinternos} = 11,60 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 1,40 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{1,40}{21,74} \cdot \frac{1}{0,1160} = 0,56 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 70,70 centímetros.

ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA

- **Lateral esquerda**

$$N_{sd} = 19,70 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{19,70}{43,48} = 0,45 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

- **Lateral direita**

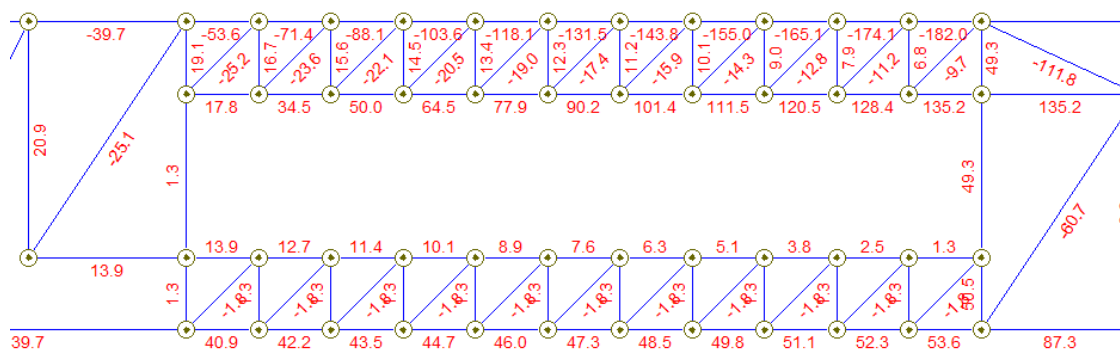
$$N_{sd} = 48,90 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{48,90}{43,48} = 1,12 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO

Figura 50: Esforços axiais para a abertura de 120cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ARMADURAS LONGITUDINAIS

- **Banzo superior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 182 \text{ kN}$$

$$182 - 81,20 = 100,80 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{100,80}{43,48} = 2,32 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 barras com 10 milímetros de diâmetro.

- **Banzo superior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 135,20 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{135,20}{43,48} = 3,11 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 barras com 12,50 milímetros de diâmetro.

- **Banzo inferior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 13,90 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{13,90}{43,48} = 0,32 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com diâmetro de 5 milímetros.

- **Banzo inferior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 53,60 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{53,60}{43,48} = 1,23 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com 10 milímetros de diâmetro.

ARMADURAS TRANSVERSAIS

- **Banzo superior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa.}$$

$$s_{tirantesinternos} = 11,45 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 16,70 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{16,70}{21,74} \cdot \frac{1}{0,1145} = 6,71 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 5,85 centímetros.

- **Banzo inferior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa}.$$

$$s_{tirantesinternos} = 11,45 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 1,30 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{1,30}{21,74} \cdot \frac{1}{0,1145} = 0,33 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 118,20 centímetros.

ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA

- **Lateral esquerda**

$$N_{sd} = 19,10 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{19,10}{43,48} = 0,44 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

- **Lateral direita**

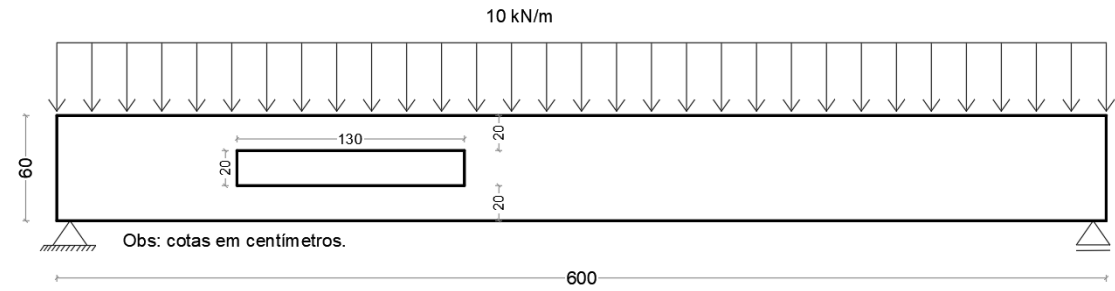
$$N_{sd} = 50,50 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{50,50}{43,48} = 1,16 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

CASO 13: ABERTURA DE 130cmx20cm

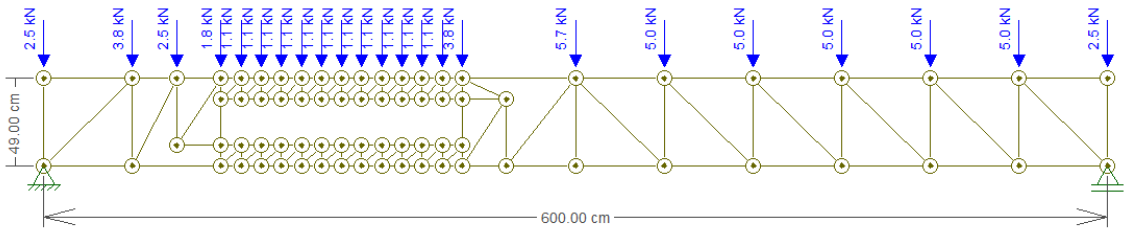
Figura 51: Abertura de 130cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

MODELO DE BIELAS E TIRANTES UTILIZADO

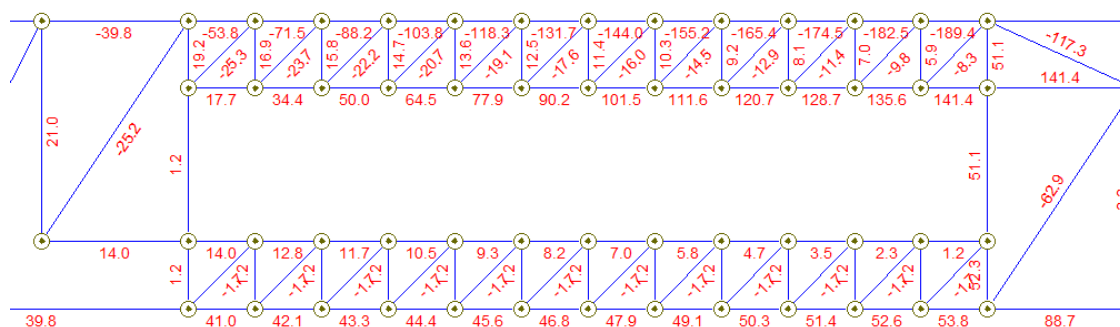
Figura 52: Modelo de bielas de tirantes para a abertura de 130cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ANÁLISE ESTRUTURAL E ARMADURAS DE REFORÇO

Figura 53: Esforços axiais para a abertura de 130cmx20cm.



Fonte: Autor (2022)

ARMADURAS LONGITUDINAIS

- **Banzo superior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 189,40 \text{ kN}$$

$$189,40 - 81,30 = 108,10 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{108,10}{43,48} = 2,49 \text{ cm}^2$$

Usa-se 4 barras com 10 milímetros de diâmetro.

- **Banzo superior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 141,40 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{141,40}{43,48} = 3,25 \text{ cm}^2$$

Usa-se 3 barras com 12,50 milímetros de diâmetro.

- **Banzo inferior: armadura da face superior**

$$N_{sd} = 14 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{14}{43,48} = 0,32 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com diâmetro de 5 milímetros.

- **Banzo inferior: armadura da face inferior**

$$N_{sd} = 53,80 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{53,80}{43,48} = 1,24 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 barras com 10 milímetros de diâmetro.

ARMADURAS TRANSVERSAIS

- **Banzo superior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa.}$$

$$s_{tirantesinternos} = 11,33 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 16,90 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{16,90}{21,74} \cdot \frac{1}{0,1133} = 6,86 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 5,70 centímetros.

- **Banzo inferior**

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa}.$$

$$s_{tirantesinternos} = 11,33 \text{ cm}$$

$$N_{sd} = 1,20 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{1,20}{21,74} \cdot \frac{1}{0,1133} = 0,49 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usa-se estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro e espaçamento de 80,60 centímetros.

ARMADURAS NAS LATERAIS DA ABERTURA

- **Lateral esquerda**

$$N_{sd} = 19,20 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{19,20}{43,48} = 0,44 \text{ cm}^2$$

Usa-se 2 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.

- **Lateral direita**

$$N_{sd} = 52,30 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{52,30}{43,48} = 1,20 \text{ cm}^2$$

Usa-se 4 estribos de dois ramos com 5 milímetros de diâmetro.