

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS
GERAIS**

**ESCOLA DE ENGENHARIA
ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS**

**ANÁLISE DE VIGAS DE CONCRETO
ARMADO COM ABERTURAS NA ALMA**

Aluno: Gilton Gebosky Lima

Professor orientador: Sebastião Salvador Real Pereira

2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, à minha mãe Maria Antonia Gebosky, à Bedê Engenharia de Estruturas e ao professor Sebastião pelo incentivo e apoio na realização deste trabalho.

Sumário

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1. NBR 6118 (2014).....	9
2.2. JOSÉ CARLOS SÜSSEKIND.....	10
2.3. PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO.....	13
2.4. FRITZ LEONHARDT E EDUARD MÖNNIG	20
3. DEFINIÇÃO DOS EXEMPLOS BASES.....	24
4. CÁLCULO DAS VIGAS SEM ABERTURA.....	25
4.1. VIGA 1 = VIGA 2	25
4.2. VIGA 3 = VIGA 4	27
4.3. VIGA 5	29
5. CÁLCULO DAS ARMAÇÕES NAS REGIÕES DAS ABERTURAS	31
5.1. VIGA 1 (19/70).....	31
5.2. VIGA 2 (19/70).....	33
5.3. VIGA 3 (19/70).....	35
5.4. VIGA 4 (19/70).....	37
5.5. VIGA 5 (25/90).....	39
6. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES	41
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

Índice de ilustrações

Figura 1 - Má concretagem em região de furos.....	6
Figura 2 - furos muito próximos uns dos outros.....	7
Figura 3 - corpos de prova com barras interceptadas por furos em elementos concretagem.....	7
Figura 4 - critérios de dispensa de verificação NBR 6118 (2014)	10
Figura 5 - premissas - Süssekind	11
Figura 6 - análise de esforços na região da abertura - Süssekind	11
Figura 7 - equilíbrio da seção - Süssekind.....	12
Figura 8 - distribuição da cortante - Süssekind	12
Figura 9 - distribuição do momento fletor - Süssekind	13
Figura 10 - ângulos limite das bielas – (Fusco, 2013, p.335).....	14
Figura 11 - premissas - Fusco.....	15
Figura 12 - análise de esforços na região da abertura - Fusco.....	15
Figura 13 - equilíbrio da seção - Fusco	16
Figura 14 - distribuição de cortante - Fusco	16
Figura 15 - distribuição de momento fletor - Fusco	17
Figura 16 - região entre aberturas muito próximos – (Fusco, 2013, p.337)	18
Figura 17 - considerações sobre redução da resistência à cortante - (Fusco, 2013, p.336)	19
Figura 18 - premissas - Leonhardt e Mönnig	20
Figura 19 - análise de esforços na região da abertura – Leonhardt e Mönnig.....	21
Figura 20 - equilíbrio da seção - Leonhardt e Mönnig.....	21
Figura 21 - distribuição da cortante - Leonhardt e Mönnig.....	22
Figura 22 - distribuição dos momentos fletores - Leonhardt e Mönnig	23
Figura 23 - região entre aberturas muito próximos – (Leonhardt; Mönnig, 1978, p.165)	23
Figura 24 - esforços vigas 1 e 2.....	25
Figura 25 - pré-detalhamento vigas 1 e 2	26
Figura 26 - esforços vigas 3 e 4.....	27
Figura 27 - pré-detalhamento vigas 3 e 4	28
Figura 28 - esforços viga 5	29

Figura 29 - pré-detalhamento viga 5.....	30
Figura 30 - locação da abertura - VIGA 1	31
Figura 31 - posição da linha neutra - VIGA 1	31
Figura 32 - resultado - VIGA 1	32
Figura 33 - locação da abertura - VIGA 2	33
Figura 34 - posição da linha neutra - VIGA 2	33
Figura 35 - resultados - VIGA 2	34
Figura 36 - locação da abertura - VIGA 3	35
Figura 37 - posição da linha neutra - VIGA 3	35
Figura 38 - resultado - VIGA 3	36
Figura 39 - locação da abertura - VIGA 4	37
Figura 40 - posição da linha neutra - VIGA 4	37
Figura 41 - resultados - VIGA 4.....	38
Figura 42 - locação da abertura - VIGA 5	39
Figura 43 - posição da linha neutra - VIGA 5	39
Figura 44 - resultado - VIGA 5	40
Figura 45 - Esquema de armação	42

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Os conflitos gerados pelos diferentes tempos de elaboração de projetos, ocasionam, na maioria das vezes, interferências entre os projetos de instalações e de estrutura. Os problemas já têm início na etapa de contratação dos projetos. Em um primeiro momento são contratados os estudos preliminares de arquitetura e de estrutura. Após os tramites para aprovação do projeto arquitetônico nas prefeituras, chega-se a hora de contratar os projetos ditos complementares. A partir daí segue-se para a compatibilização dos projetos, são descobertas as interferências e a estrutura começa a ser sacrificada.

A detecção de tais interferências vem sendo facilitada com a evolução das ferramentas de coordenação e elaboração de projetos com o conceito do BIM (Building Information Modeling). Entretanto, a solução por muitas vezes acaba sendo furar elementos estruturais. Por outro lado, para aqueles que não fazem uso de uma boa ferramenta para compatibilização de projetos, esse problema pode ser agravado, com furos e até mesmo rasgos sendo executados sem o conhecimento do engenheiro responsável pela estrutura.

A NBR 6118:2014 faz considerações sobre a dispensa de verificação de aberturas em vigas. Mas, inúmeras vezes não é possível atender aos requisitos para dispensa segundo a Norma Brasileira de Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, de tal forma que se faz necessária a verificação das aberturas através de um modelo de cálculo.

Questões como a má concretagem na região das aberturas, em função da grande densidade de armadura nos reforços dessa região, também é preocupante. Algumas vezes as aberturas previstas em projeto estão super-dimensionada ou não havia sequer necessidade da abertura. Já nos casos de furos realizados em elementos já concretados haverá interceptação de barras da armação do elemento.



Figura 1 - Má concretagem em região de furos



Figura 2 - furos muito próximos uns dos outros



Figura 3 - corpos de prova com barras interceptadas por furos em elementos concretagem

Frente às limitações do engenheiro de estruturas para modificar de forma mais efetiva a deficiente estrutura de contratação e coordenação de projetos, uma vez que cabe às construtoras definir em que etapa serão feitas as contratações e como deverá proceder a compatibilização e estas por muitas vezes desconhecem as dificuldades técnicas envolvidas, o que resta é a boa aplicação dos conceitos e alternativas, a fim de minimizar os problemas. Nesta linha de pensamento, o presente trabalho se dispõe a percorrer as diversas considerações de cálculo de aberturas em vigas de concreto armado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

José Carlos Süssekind em seu livro “*Curso de Concreto - Volume II*”, 4ª edição, Editora Globo (1999), apresenta premissas para verificação e dimensionamento de armaduras na região de aberturas. Os livros: “*A técnica de armar as estruturas de concreto*”, de Péricles Brasiliense Fusco, 2ª edição, Editora Pini (2013) e “*Construções de concreto: princípios básicos sobre a armação de estruturas de concreto armado – Volume 3*”, Fritz Leonhardt e Eduard Mönnig, Editora Interciência (1978), também apresentam considerações sobre o tratamento do tema central deste trabalho. Por fim, mas não menos importante, a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6018:2014 : Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, Rio de Janeiro: ABNT, 2014, terá todas suas orientações respeitadas e atendidas nas avaliações apresentadas neste estudo.

2.1. NBR 6118 (2014)

Segundo a NBR 6118 (2014) em seu subitem 22.3.1, projetos de elementos que necessitem de aberturas devem ter as perturbações de tensões e armaduras adicionais consideradas e detalhadas. No capítulo 13, são dadas as diretrizes para limites de dimensões das aberturas e furos.

O subitem 13.2.5.1 é o que trata de furos que atravessam as vigas na direção da sua largura. O comentário geral feito neste item que valerá para quaisquer casos de furos e aberturas em vigas é o de manter a distância mínima de 5 cm e duas vezes o cobrimento entre a face da abertura e qualquer extremidade da viga. Posto isso, há possibilidade de dispensa de verificação de um furo, desde que sejam respeitadas simultaneamente algumas condições que são dispostas a seguir:

- a) furos em zona de tração e a uma distância da face do apoio de no mínimo $2h$, onde h é a altura da viga;
- b) dimensão da abertura de no máximo 12 cm e $h/2$;
- c) distância entre faces de furos, em um mesmo tramo, de no mínimo $2h$;
- d) cobrimentos suficientes e não seccionamento das armaduras.

(NBR 6118:2014, p.75)

A respeito da condição d) citada, a NBR 6118:2014 trata este assunto no seu capítulo 7 e atendê-lo, via de regra, não se configura uma dificuldade. Ilustrando as exigências da NBR 6118:2014, temos a figura a seguir:

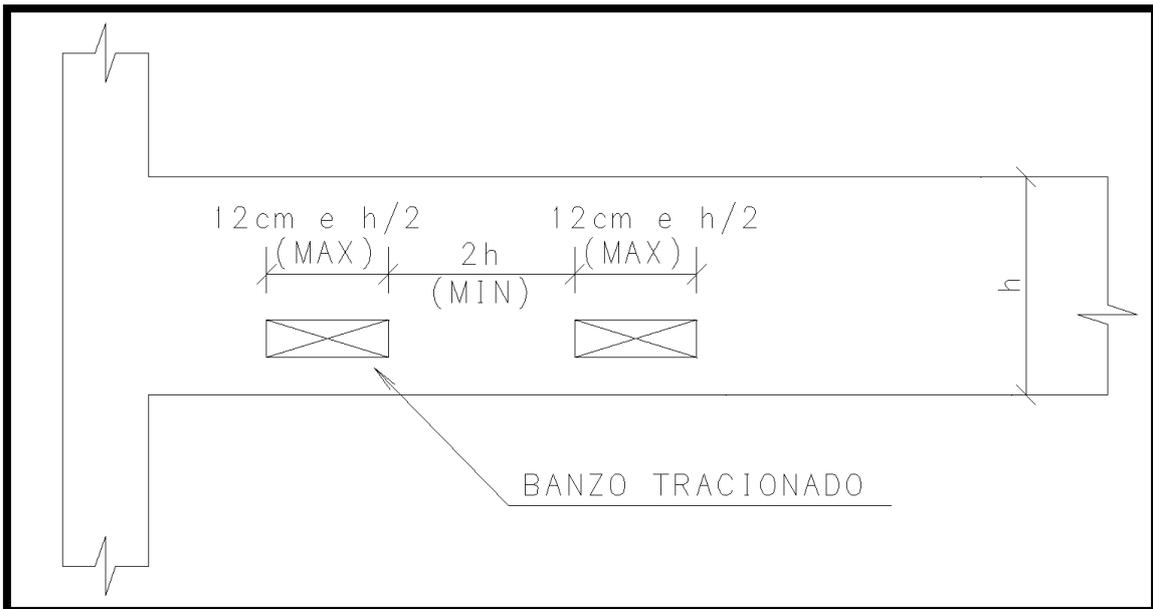


Figura 4 - critérios de dispensa de verificação NBR 6118 (2014)

É notório que estes critérios nem sempre podem ser atendidos nos projetos e daí passa-se à fase de verificação de modelos para consideração das perturbações e das armações adicionais que são citadas no item 22.3.1. Na sequência deste trabalho serão indicados alguns métodos de cálculo que auxiliam nessas situações e a própria NBR 6118:2014 dá sugestão que se utilize a solução por modelos de bielas e tirantes.

É frisada a importância de ter uma seção de concreto armado capaz de resistir aos esforços solicitantes da estrutura nas faces adjacentes às aberturas, além da preocupação com as condições para que seja executada uma boa concretagem.

2.2. JOSÉ CARLOS SÜSSEKIND

Süssekind (1999) cita um método de análise que é reportado a seguir:

Para que uma viga com abertura possa ser tratada pela hipótese de que as seções permaneçam planas recebendo influência somente local das aberturas, pressupõem-se as seguintes premissas geométricas:

a) a distância da face da abertura até a face da viga cujo banzo está tracionado, deve ser de no mínimo 10 cm.

b) a largura máxima da abertura deve ser de $1,5h$, onde h é a altura da viga.

c) aberturas em um mesmo tramo devem distar no mínimo $1,2h$ entre suas faces.

Estas premissas são ilustradas na figura a seguir:

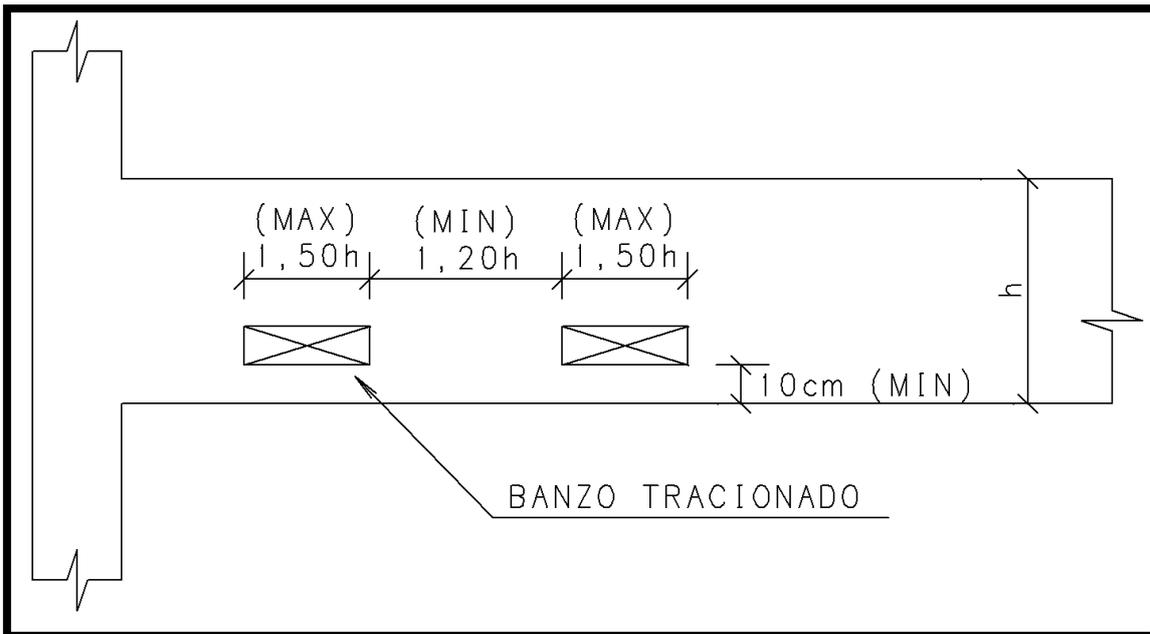


Figura 5 - premissas - Süssekind

Desde que atendidas estas condições, Süssekind (1999) define uma sequência de cálculo conforme descrito a seguir:

- cálculo da viga sem a consideração da existência da abertura.
- tomando como ponto base o eixo da abertura, verificar os esforços associados (momento fletor, força normal e força cortante, basicamente).

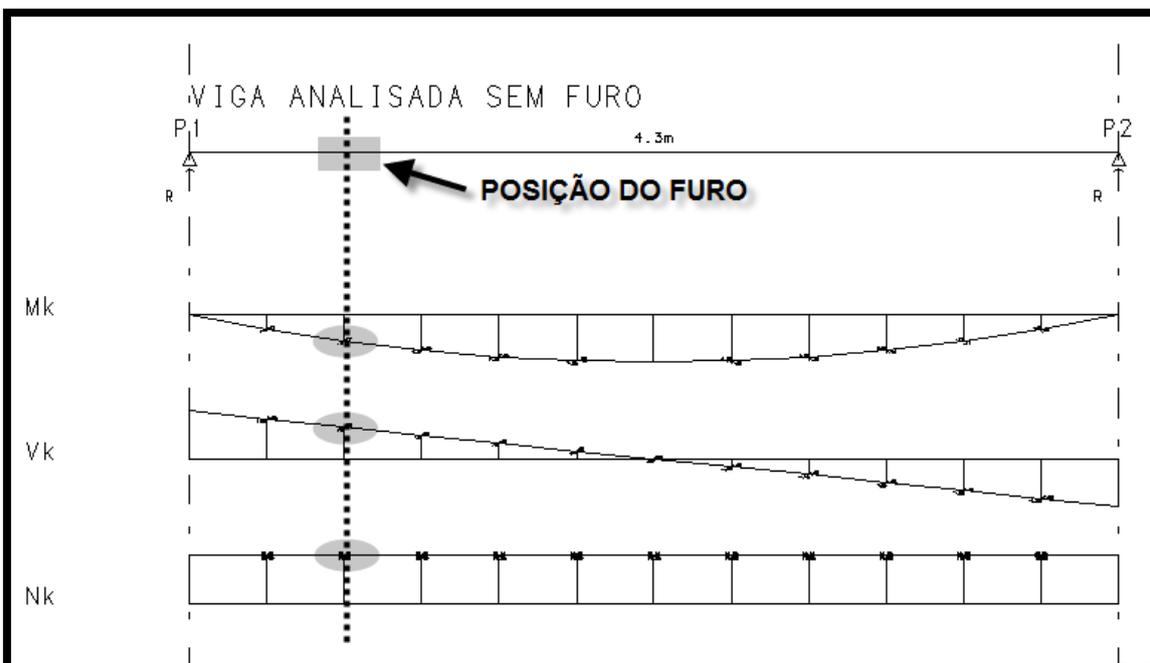


Figura 6 - análise de esforços na região da abertura - Süssekind

c) o equilíbrio da seção se dará conforme ilustrado a seguir, onde D e Z são respectivamente a parcela de compressão do concreto e tração no aço.

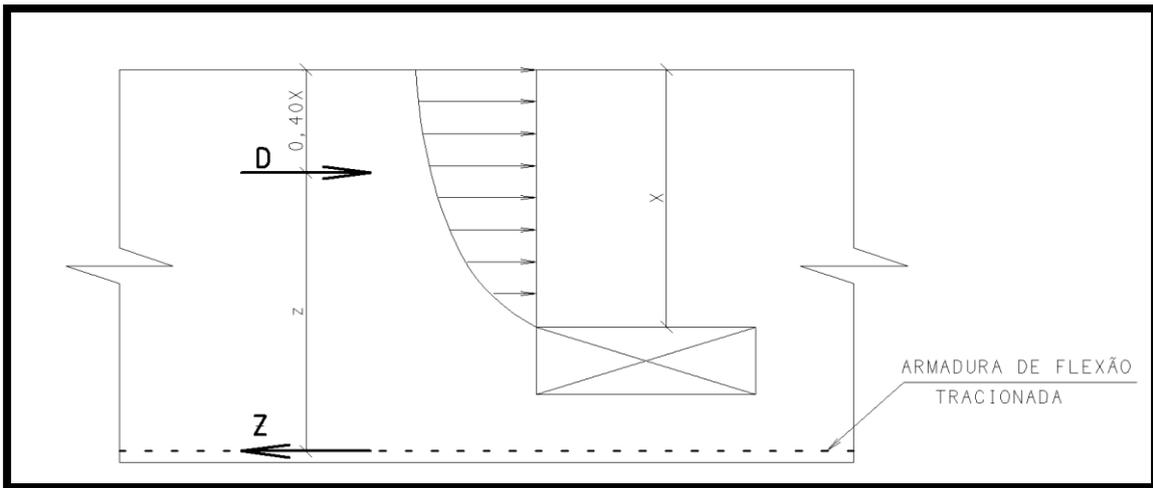


Figura 7 - equilíbrio da seção - Süsskind

Note-se que z é a distância entre o centro de gravidade das barras na resistência à tração e $0,4x$ da seção comprimida de concreto.

d) A parcela de cortante para cada banzo é distribuída atentando para o fato de que na seção tracionada, devido à fissuração do concreto, a rigidez se deve somente à parcela do aço. Assim sendo, a rigidez do banzo comprimido é infinitamente maior e receberá 100% da parcela da cortante da seção, já para dimensionamento do banzo tracionado, somente por precaução, haverá a consideração de 10% da cortante atuante na seção.

$$Q_1 = Q$$

$$Q_2 = 0,10 \cdot Q$$

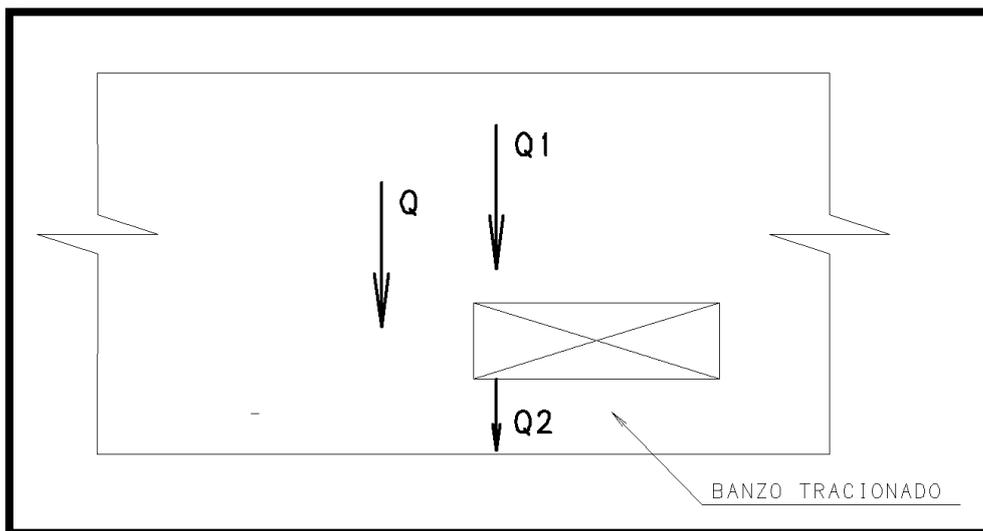


Figura 8 - distribuição da cortante - Süsskind

e) Os valores de D e Z são:

$$D = M/z$$

$$Z = M/z$$

f) O momento em cada banzo é:

$$M_1 = Q \cdot a + q \cdot a^2 \cdot 0,5 \quad ; \text{ onde } q \text{ é a carga distribuída na viga sobre o furo.}$$

$$M_2 = 0,10 \cdot Q \cdot a$$

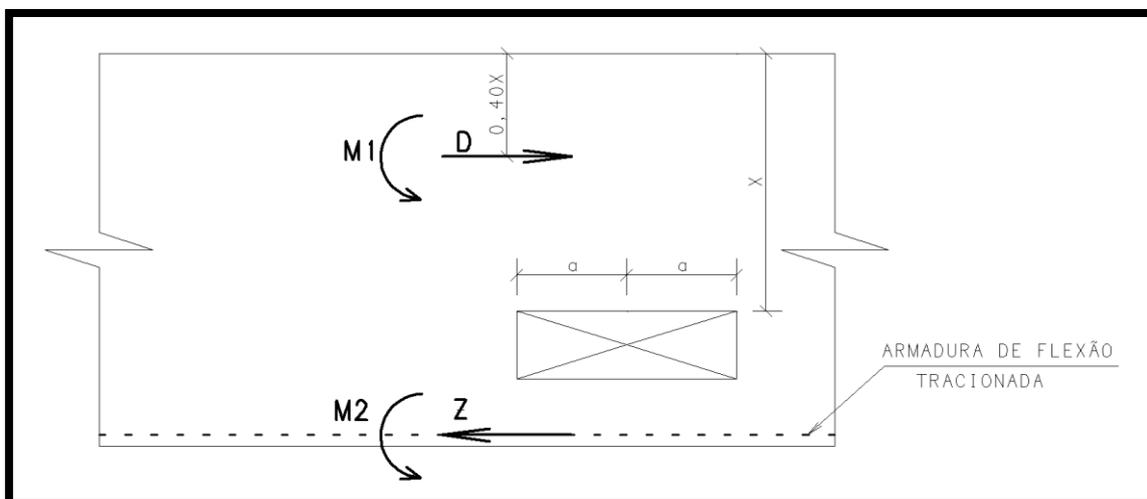


Figura 9 - distribuição do momento fletor - Süssekind

Comentários extras muito interessante são feito por Süssekind (1999), tais como:

- 1) Evidentemente, a localização ideal do furo é próxima às regiões de cortante nulo, dispondo-o de tal modo a não ser atingida a espessura de concreto comprimido por flexão e a se assegurar um 'tirante' mínimo com 10cm para conter a armadura de flexão.
- 2) É procedimento teoricamente correto buscar valores baixos para a altura do banzo tracionado, no intuito de se garantir a totalidade de transmissão do cortante pelo banzo comprimido.
- 3) No caso de considerações imperiosas requererem posição de abertura que venha a interceptar região de concreto comprimido pelo momento atuante na viga, deve-se utilizar armadura de compressão, na região do furo, que faça a linha neutra subir até uma posição tal que não seja, então, interceptada pela furação.

(Süssekind, 1999, p.162-163)

2.3. PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO

Fusco (2013) cita inicialmente as condições para que as aberturas possam atender aos ângulos limites das bielas no concreto, 60° a 30° com o eixo do elemento:

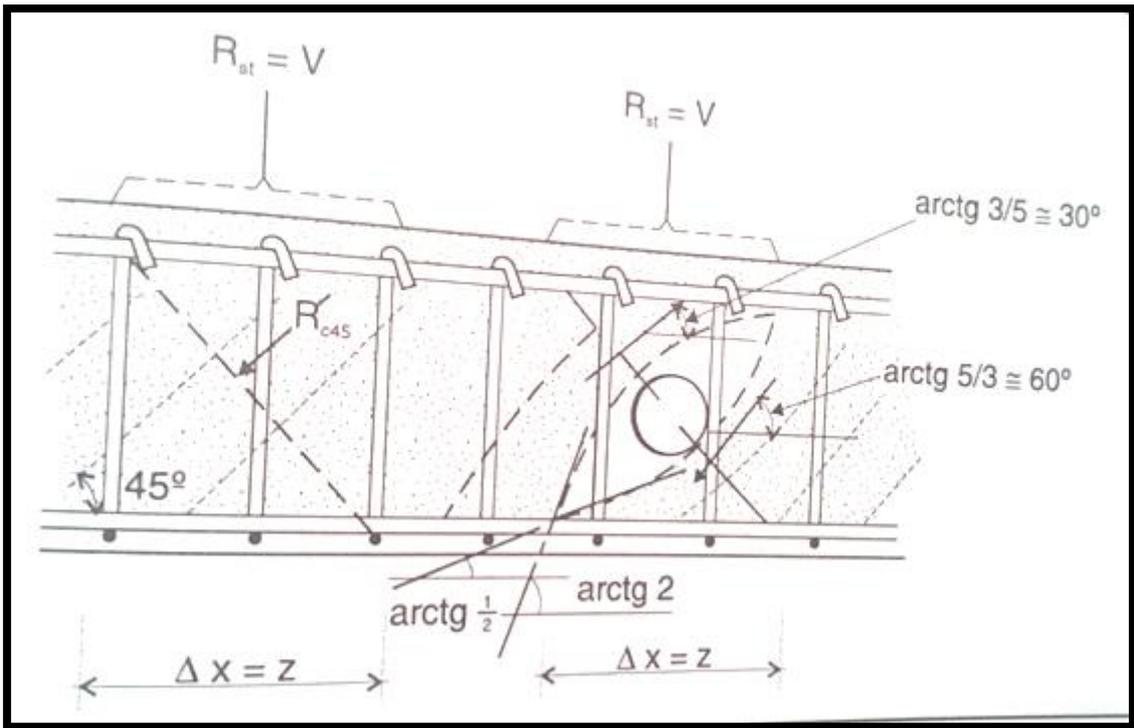


Figura 10 - ângulos limite das bielas – (Fusco, 2013, p.335)

É chamada a atenção ao fato da perda de alguns estribos, em função das dimensões das aberturas nas almas das vigas.

As considerações de Fusco (2013) têm grande relação com as apresentadas por Süssekind (1999), com pequenas diferenças como consideração da distância z e as parcelas de esforço cortante de cada banço. Antes de passar à descrição do cálculo, temos as premissas para utilização do método:

a) a distância da face da abertura até o apoio deve ser no mínimo igual a h , onde h é a altura da viga.

b) a largura da abertura de ser no mínimo $1,5h$.

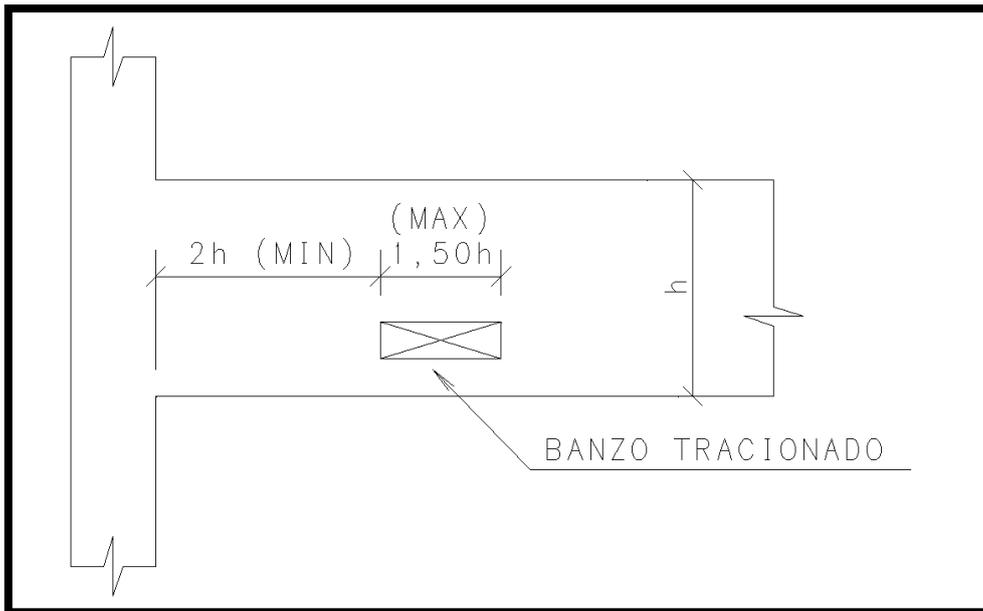


Figura 11 - premissas - Fusco

Atendido isso, as etapas de cálculo são as que segue:

- a) cálculo da viga sem a consideração da existência da abertura.
- b) tomando como ponto base o eixo da abertura, verificar os esforços associados (momento fletor, força normal e força cortante, basicamente).

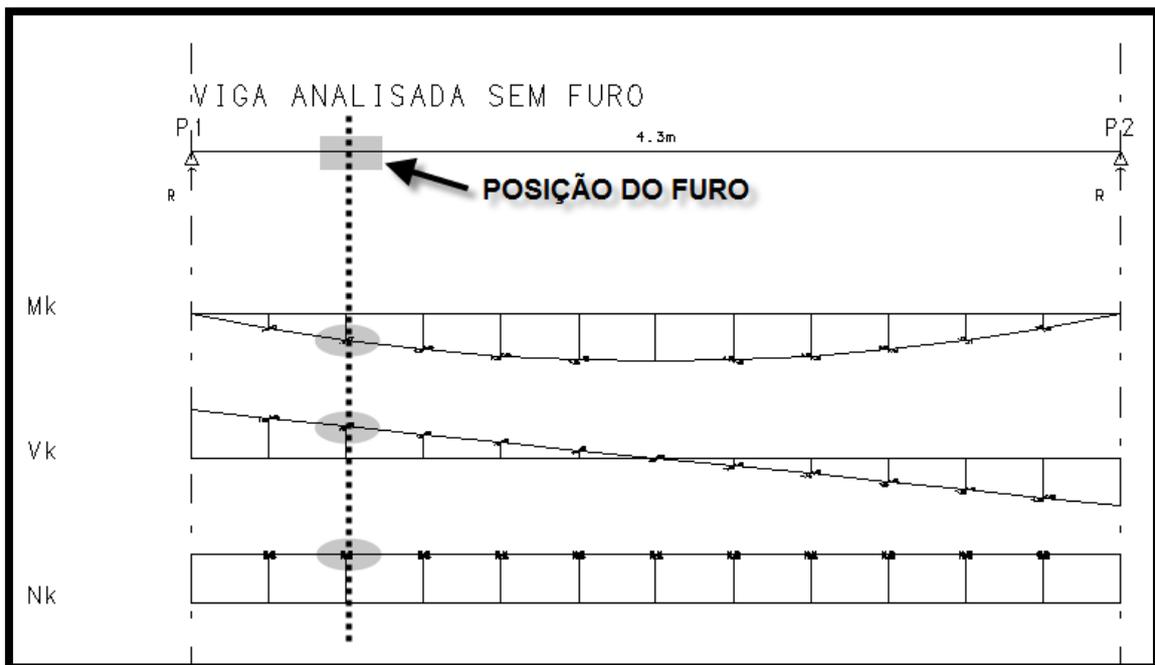


Figura 12 - análise de esforços na região da abertura - Fusco

c) o equilíbrio da seção se dará conforme ilustrado a seguir, onde D e Z são respectivamente a parcela de compressão do concreto e tração no aço.

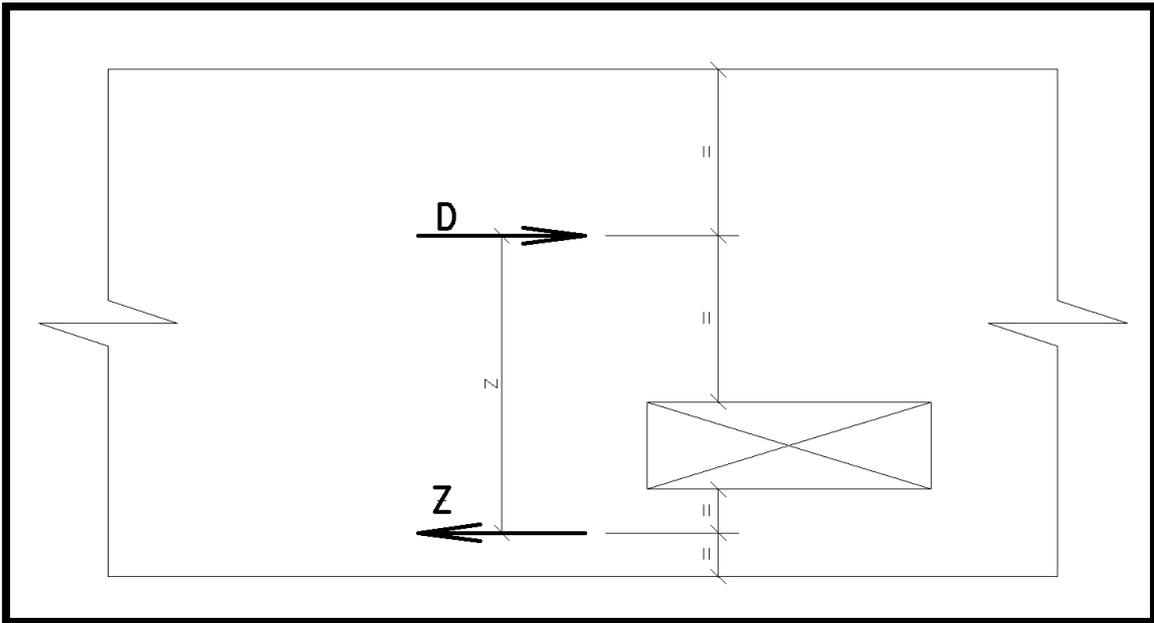


Figura 13 - equilíbrio da seção - Fusco

note-se que z é a distância entre o centro de gravidade do banzo tracionado e comprimido.

d) a parcela de cortante para o banzo comprimido é considerada de no mínimo 80% da cortante da seção, já para dimensionamento do banzo tracionado a consideração é de 20% da cortante atuante na seção.

$$Q_1 = 0,80 \cdot Q$$

$$Q_2 = 0,20 \cdot Q$$

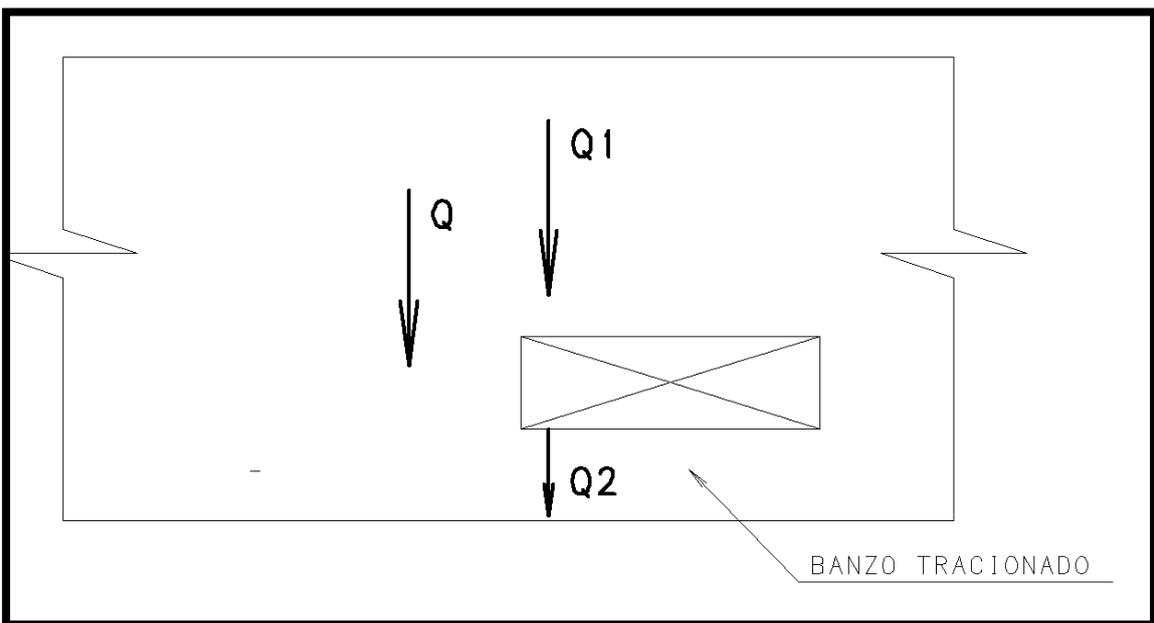


Figura 14 - distribuição de cortante - Fusco

e) Os valores de D e Z são:

$$D = M/z$$

$$Z = M/z$$

f) O momento em cada banzo é:

$$M_1 = Q_1 \cdot a \cdot 0,5$$

$$M_2 = Q_2 \cdot a \cdot 0,5$$

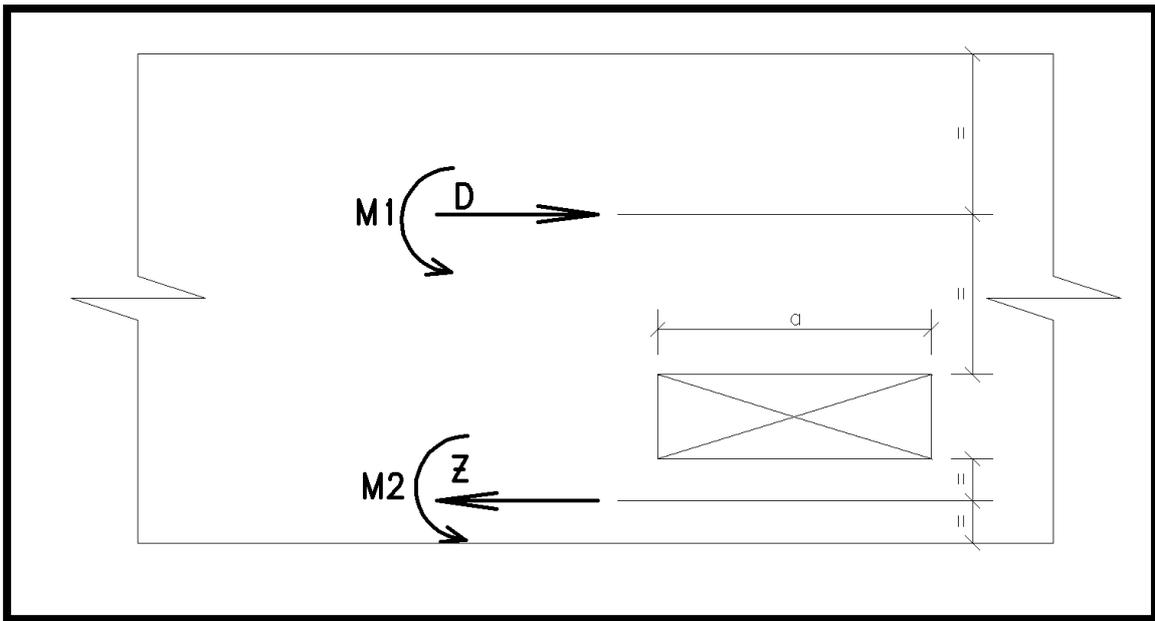


Figura 15 - distribuição de momento fletor - Fusco

Os comentários extras de Fusco (2013) são:

Quando as aberturas se localizam em posições críticas ou quando há aberturas múltiplas próximas umas das outras, deve-se tratar o problema como se fosse o de uma grande abertura. Todavia, como de fato não se trata de uma grande abertura, é preciso cuidar para que não ocorra fissuração exagerada das partes consideradas não resistentes. (Fusco, 2013, p.336)

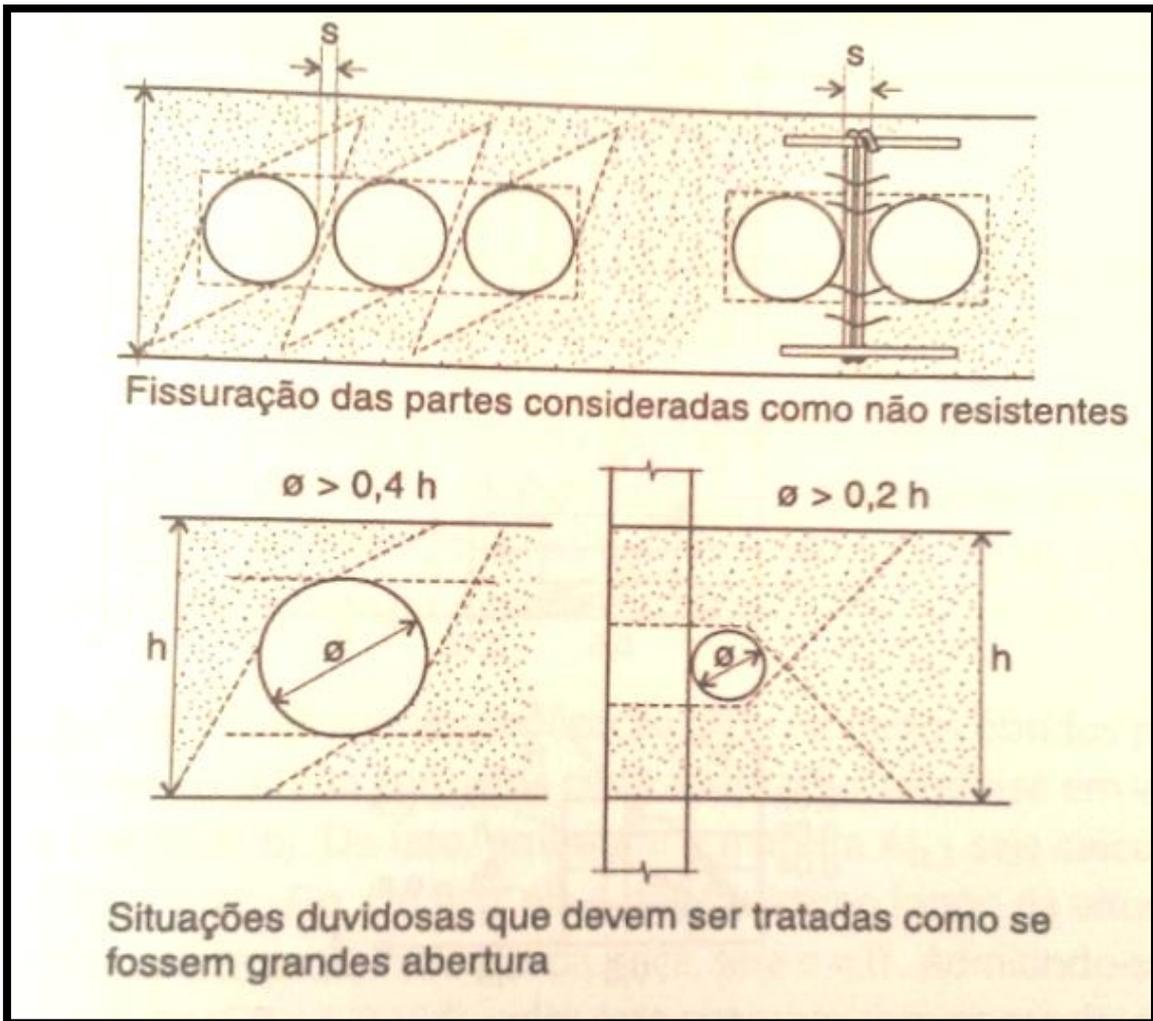


Figura 16 - região entre aberturas muito próximos – (Fusco, 2013, p.337)

Quando as aberturas são pequenas, com diâmetro até a ordem de $0,2h$, conforme sua posição, elas podem prejudicar ou não a resistência da peça ao cisalhamento. (Fusco, 2013, p.336)

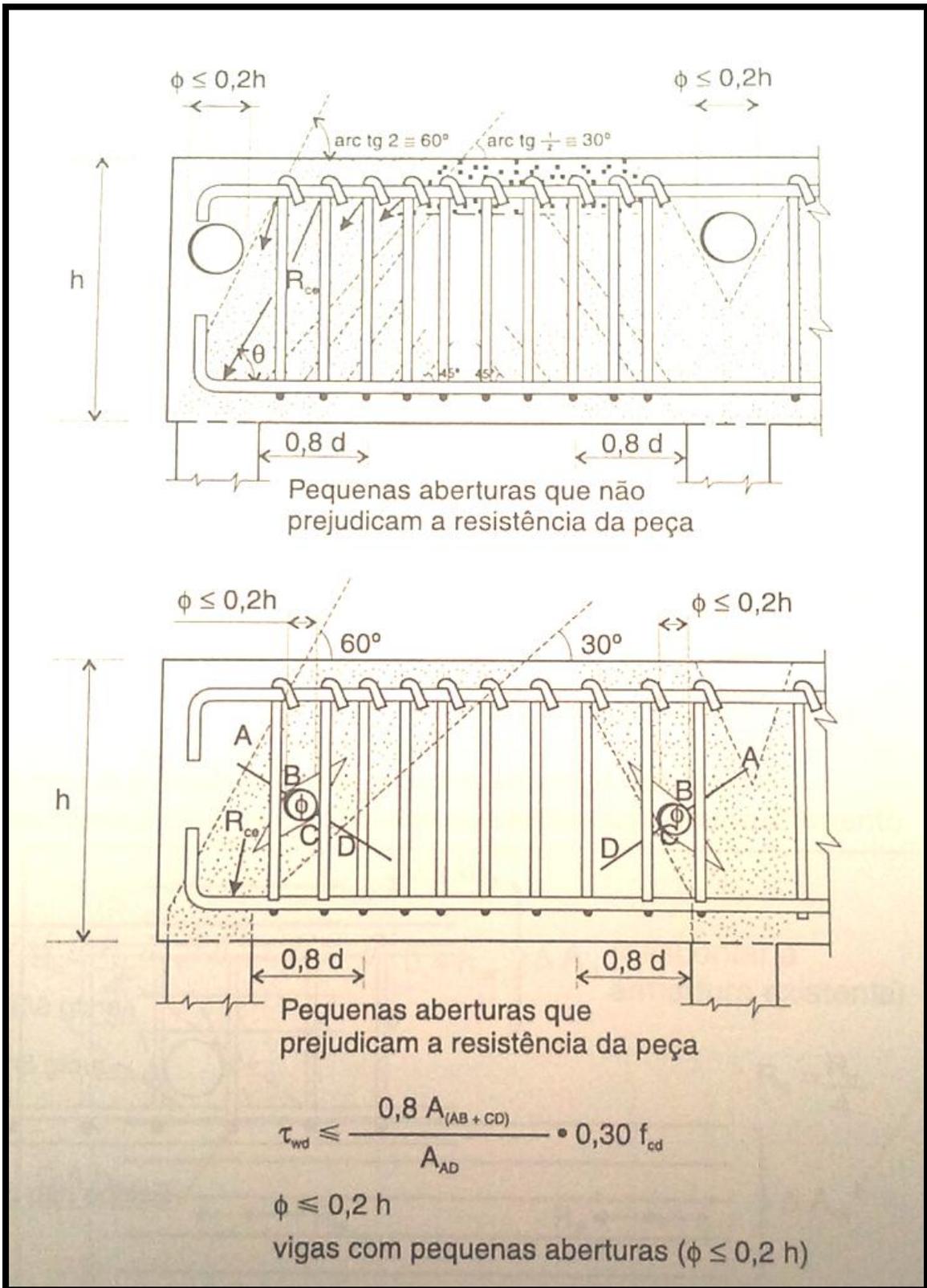


Figura 17 - considerações sobre redução da resistência à cortante - (Fusco, 2013, p.336)

2.4. FRITZ LEONHARDT E EDUARD MÖNNIG

Leonhardt e Mönnig (1978) têm uma maior atenção aos comentários complementares ao método de cálculo. A seguir são reproduzidos esses comentários:

Só se pode executar aberturas em almas de vigas no trecho onde existe força cortante, se permanecerem, na alma, as bielas de compressão ou pórticos fechados suficientemente rígidos. (...) Aberturas circulares são mais favoráveis do que com ângulos reentrantes; os vértices devem ser, o mais possível, arredondados. (...) Na região de aberturas compridas, a viga se comporta como um pórtico, semelhante a uma viga Vierendeel. Ensaios em vigas retangulares mostraram que, com a armadura adequada, atinge-se a mesma carga de ruptura por flexão que na viga sem aberturas. As aberturas diminuem, entretanto, a rigidez da viga. (Leonhardt; Mönnig, 1978, p.164)

Para adoção do modelo de cálculo Leonhardt e Mönnig (1978) também prescrevem alguns limites:

a) Vigas com aberturas de comprimento maior que $0,6h$, devem ter suas aberturas levadas em conta no dimensionamento.

a) a distância da face da abertura até o apoio deve ser no mínimo igual a h , onde h é a altura da viga.

b) a largura máxima da abertura deve ser de $2h$.

A seguir uma ilustração desses limites:

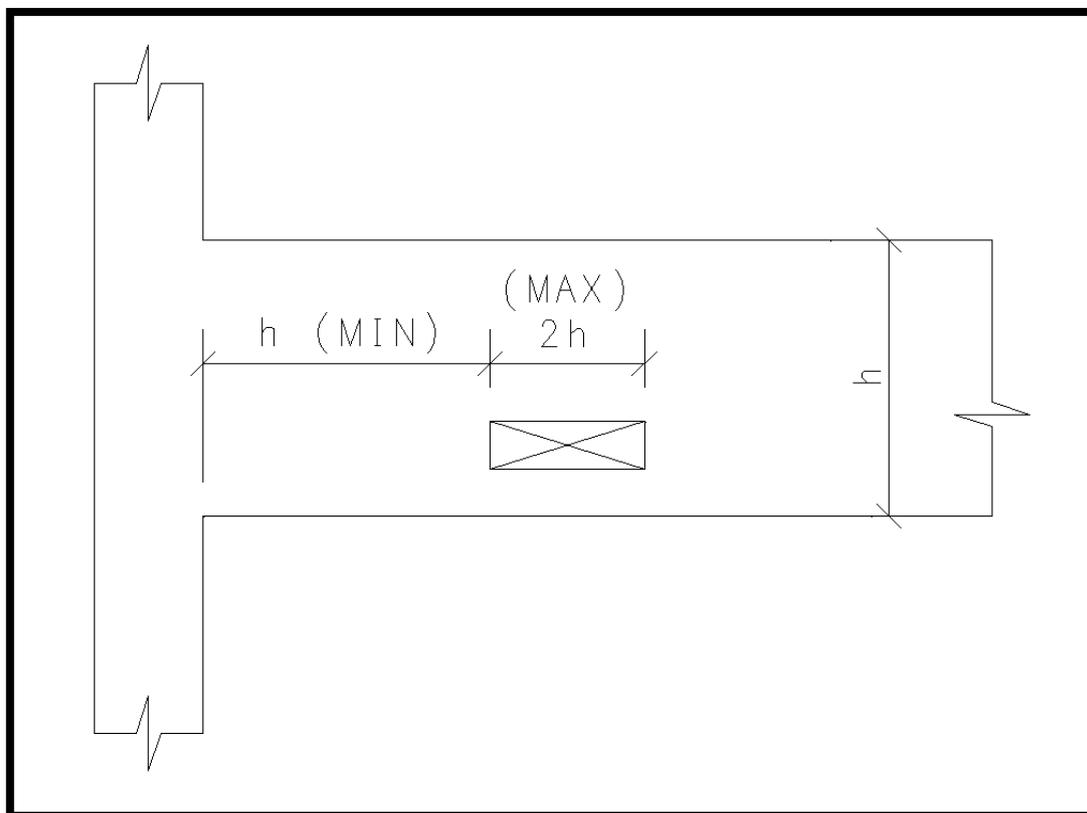


Figura 18 - premissas - Leonhardt e Mönnig

O roteiro de cálculo indicado por Leonhardt e Mönning (1978) é:

- a) cálculo da viga sem a consideração da existência da abertura.
- b) tomando como ponto base o eixo da abertura, verificar os esforços associados (momento fletor, força normal e força cortante, basicamente).

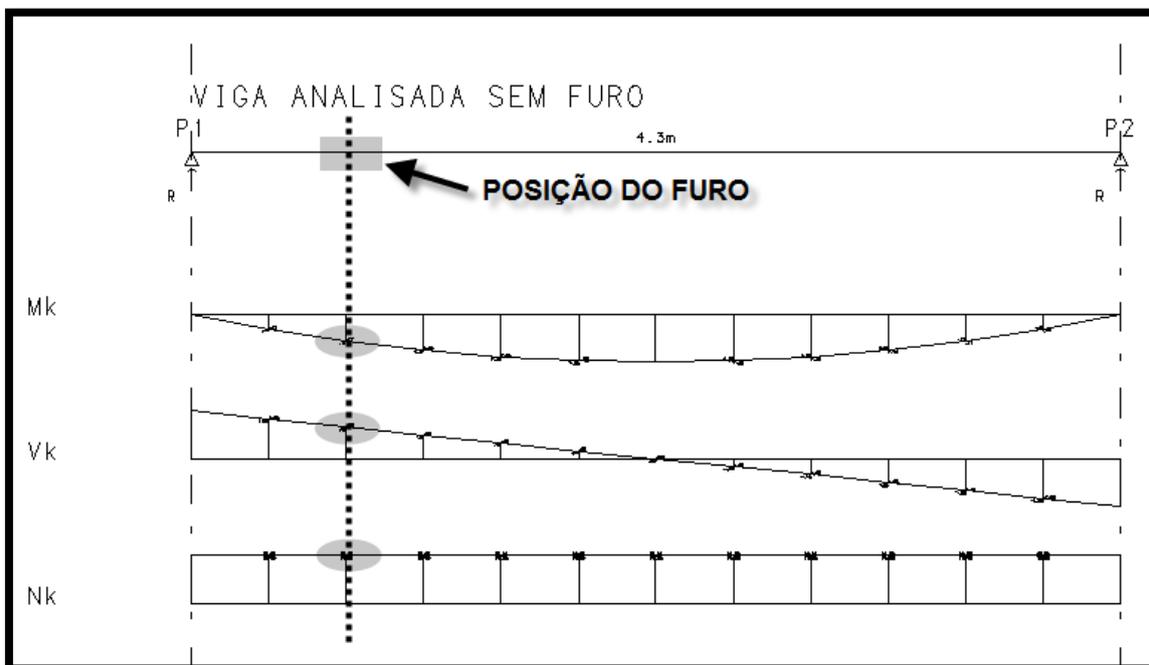


Figura 19 - análise de esforços na região da abertura – Leonhardt e Mönning

- c) o equilíbrio da seção se dará conforme ilustrado a seguir, onde D e Z são respectivamente a parcela de compressão do concreto e tração no aço.

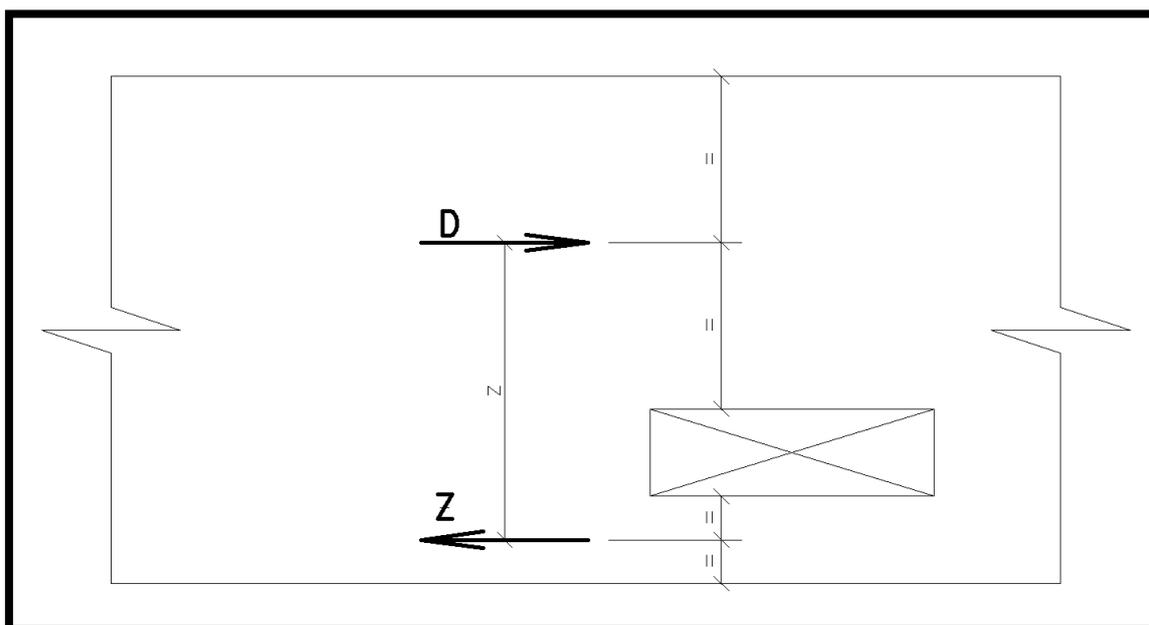


Figura 20 - equilíbrio da seção - Leonhardt e Mönning

Nota-se que z é a distância entre o centro de gravidade do banzo tracionado e comprimido.

d) a parcela de cortante para o banzo comprimido é considerada de no mínimo 80% da cortante da seção, já para dimensionamento do banzo tracionado, somente por precaução, haverá a consideração de 10% da cortante atuante na seção.

$$Q_1 = (0,80 \cdot Q) \text{ até } (0,90 \cdot Q)$$

$$Q_2 = (0,20 \cdot Q) \text{ até } (0,10 \cdot Q)$$

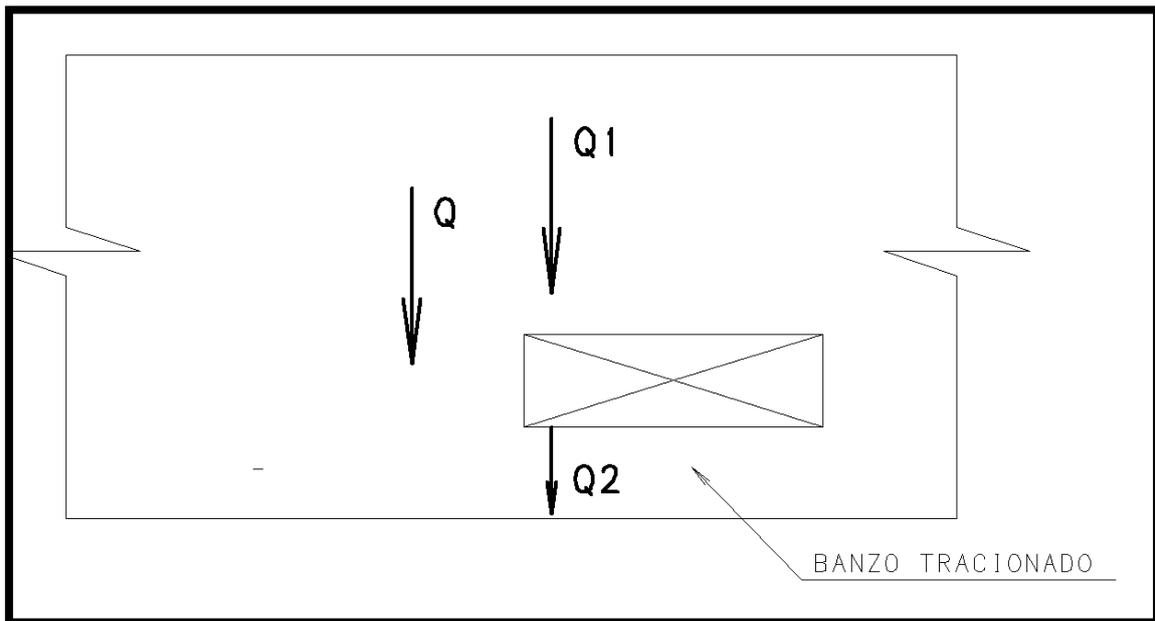


Figura 21 - distribuição da cortante - Leonhardt e Mönnig

e) Os valores de D e Z são:

$$D = M/z$$

$$Z = M/z$$

f) O momento em cada banzo é:

$$M_1 = Q_1 \cdot a \cdot 0,5$$

$$M_2 = Q_2 \cdot a \cdot 0,5$$

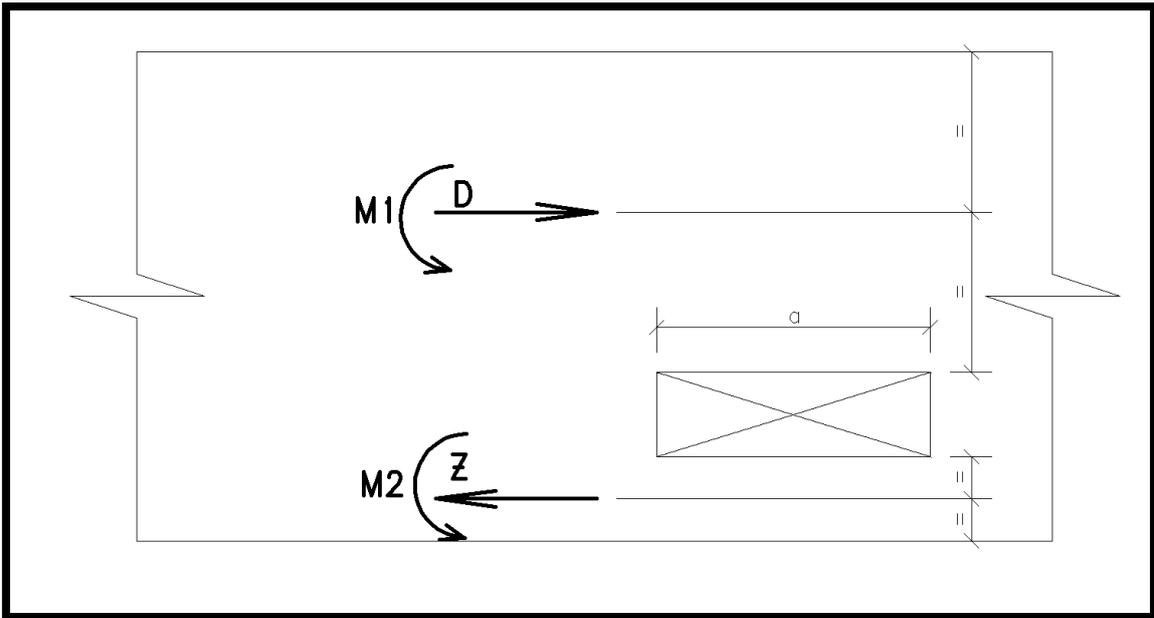


Figura 22 - distribuição dos momentos fletores - Leonhardt e Mönnig

Por fim outra observação é:

No caso de vigas com várias aberturas circulares na alma, próximas umas das outras, a distância entre armaduras deve ser tal que possa se constituir uma treliça com diagonais tracionadas e comprimidas cruzando-se entre as aberturas. São convenientes, nesse caso barras em forma de V, como armadura adicional. (Leonhardt; Mönnig, 1978, p.166)

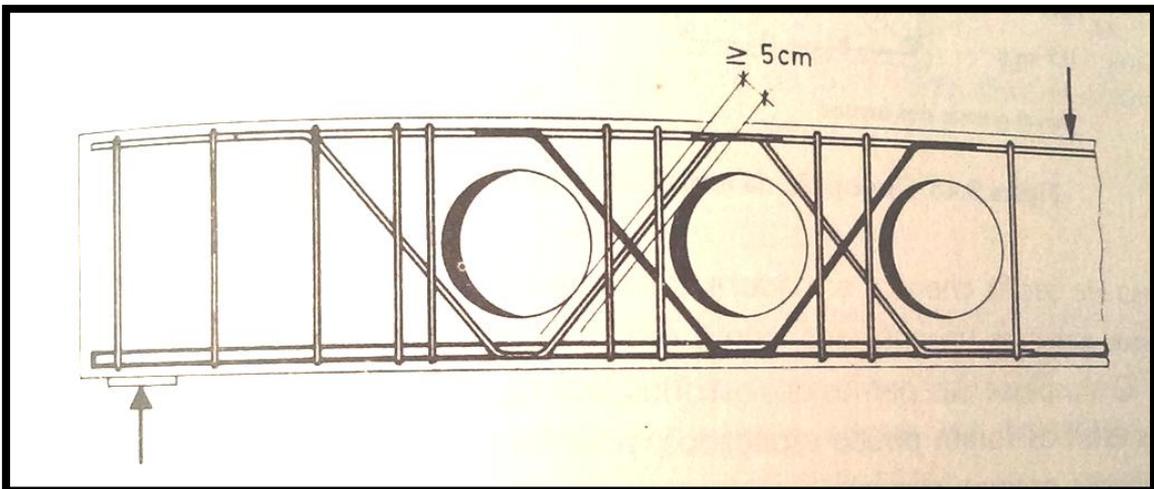


Figura 23 - região entre aberturas muito próximos – (Leonhardt; Mönnig, 1978, p.165)

3. DEFINIÇÃO DOS EXEMPLOS BASES

Para análise de aberturas foram escolhidos 5 exemplos, com aberturas de 30cm x 15cm:

- Viga 1 - viga sem continuidade, com esforços originados de carregamentos verticais aplicados nas lajes (peso próprio, cargas permanentes e acidentais), com furo próximo ao apoio.

- Viga 2 (19/70) - viga sem continuidade, com esforços originados de carregamentos verticais aplicados nas lajes (peso próprio, cargas permanentes e acidentais), com furo próximo ao meio do vão.

- Viga 3 (19/70) - viga com continuidade, com esforços originados de carregamentos verticais aplicados nas lajes (peso próprio, cargas permanentes e acidentais), com furo próximo ao apoio.

- Viga 4 (19/70) - viga com continuidade, com esforços originados de carregamentos verticais aplicados nas lajes (peso próprio, cargas permanentes e acidentais), com furo próximo ao meio do vão.

- Viga 5 (25/90) - viga de pórtico, com esforços originados de carregamentos horizontais aplicados ao longo da altura do edifício (vento), com furo próximo ao meio do vão.

4. CÁLCULO DAS VIGAS SEM ABERTURA

Para o cálculo dos esforços e detalhamento foi utilizado o Software CAD/TQS. O diagrama e o detalhamento adotado segue nas próximas páginas, com $f_{ck}=30\text{MPa}$.

4.1. VIGA 1 = VIGA 2

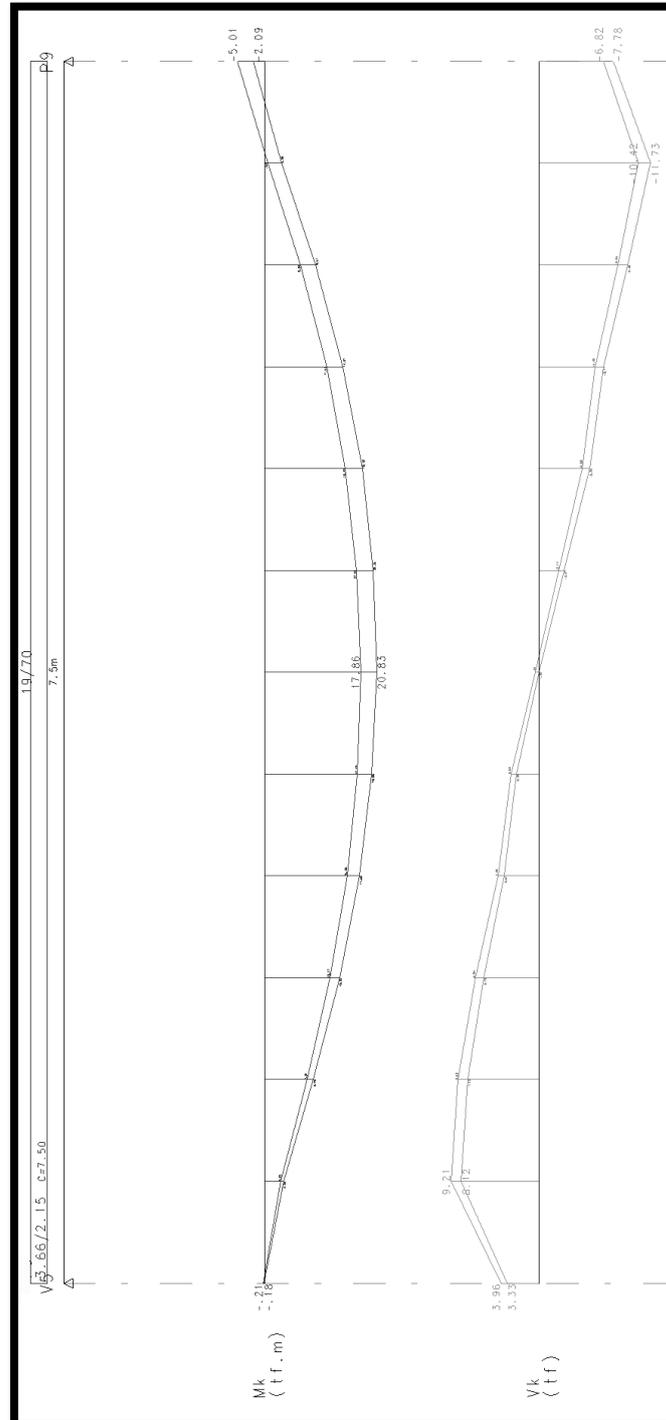


Figura 24 - esforços vigas 1 e 2

VIGA 1 = VIGA 2 (PRÉ-DETALHAMENTO)

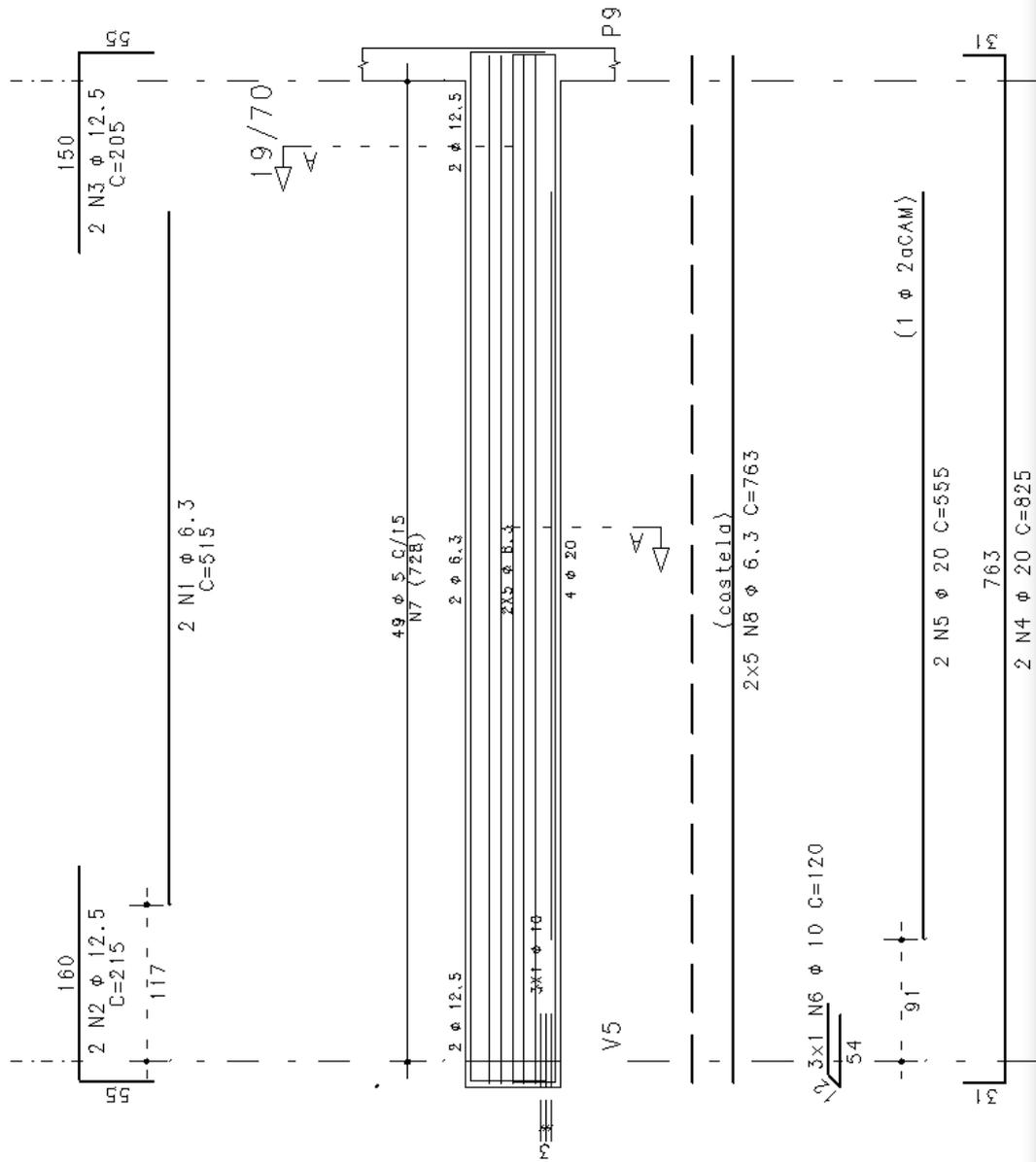


Figura 25 - pré-detalhamento vigas 1 e 2

4.2. VIGA 3 = VIGA 4

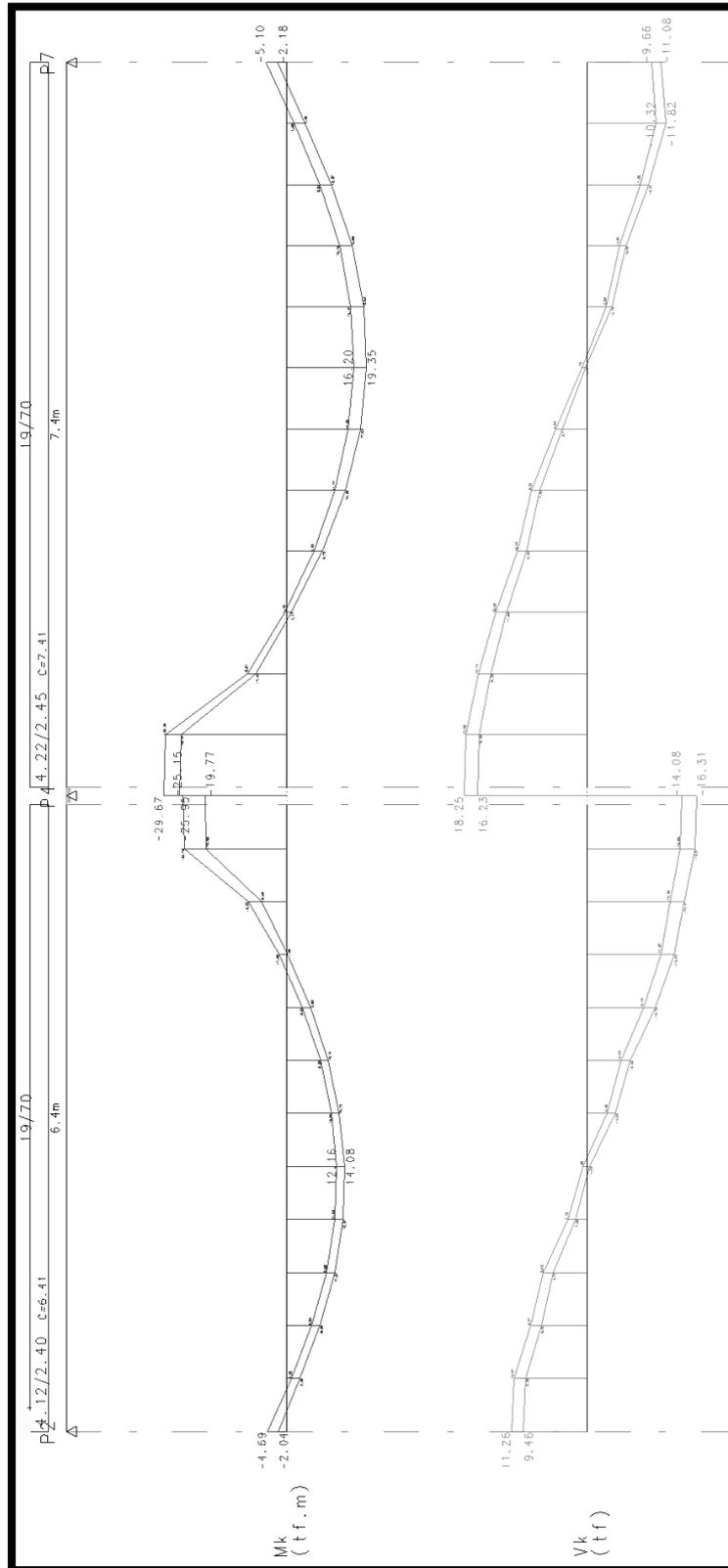


Figura 26 - esforços vigas 3 e 4

VIGA 3 = VIGA 4 (PRÉ-DETALHAMENTO)

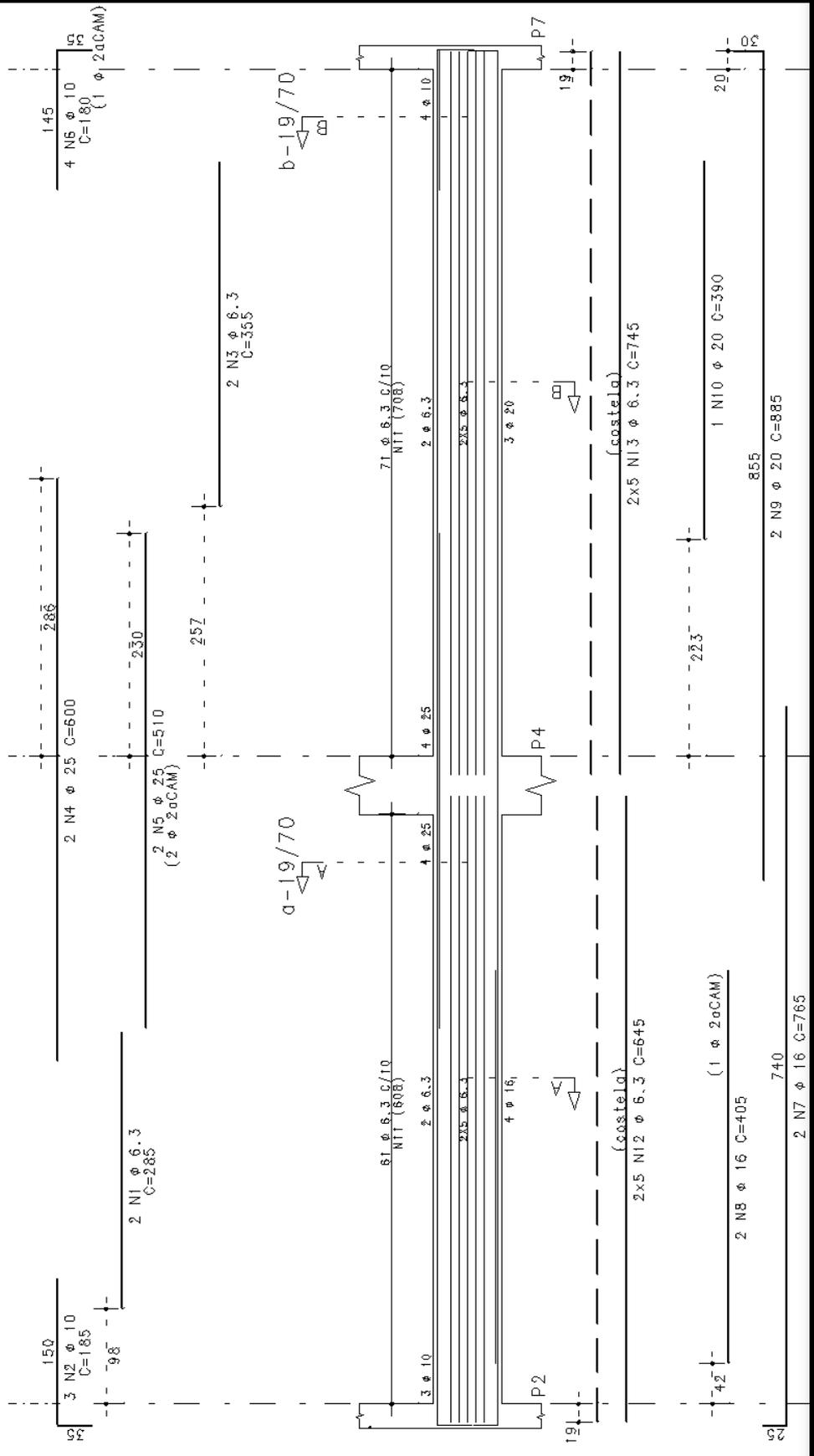


Figura 27 - pré-detalhamento vigas 3 e 4

4.3. VIGA 5

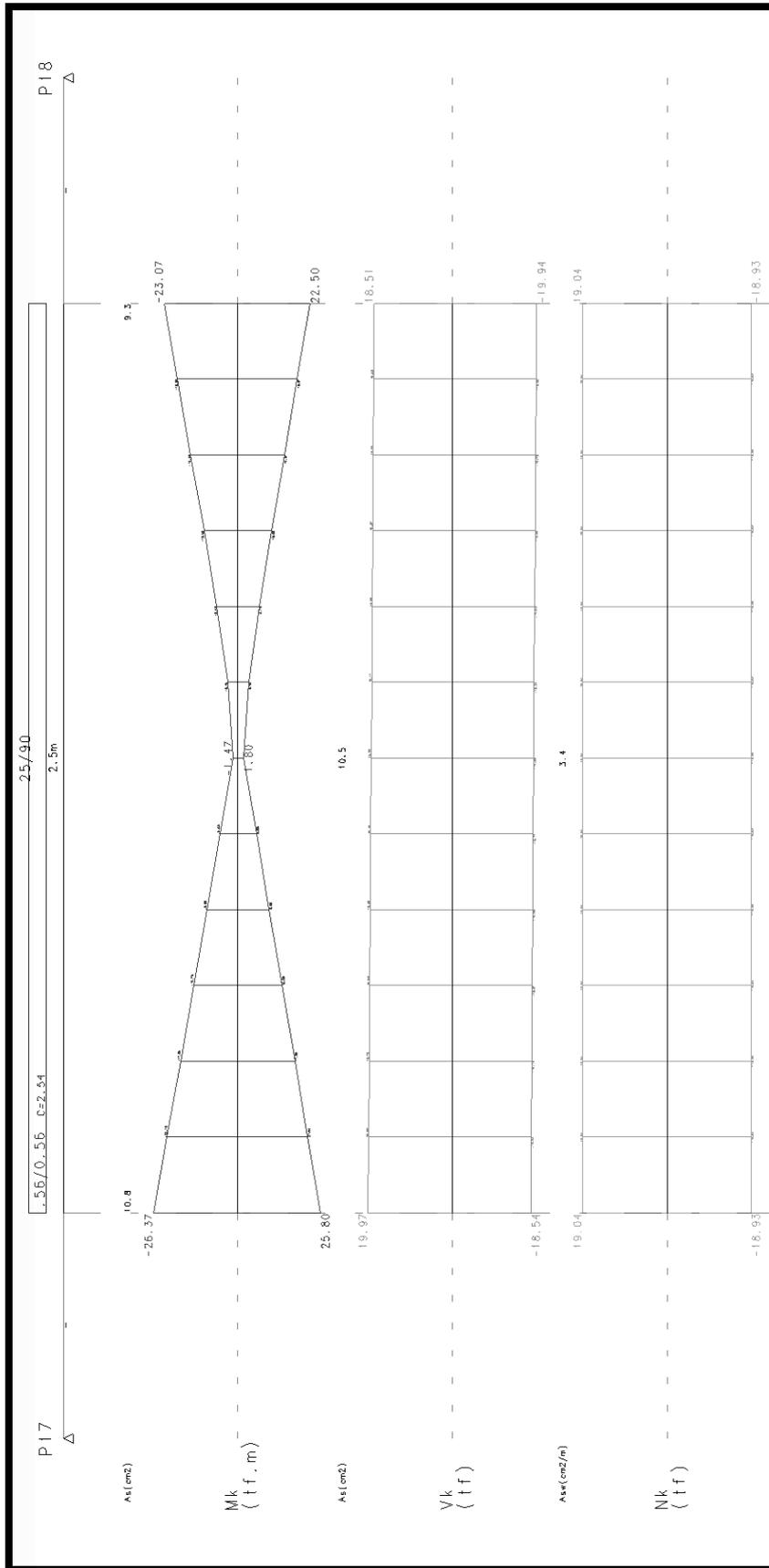


Figura 28 - esforços viga 5

VIGA 5 (PRÉ-DETLHAMENTO)

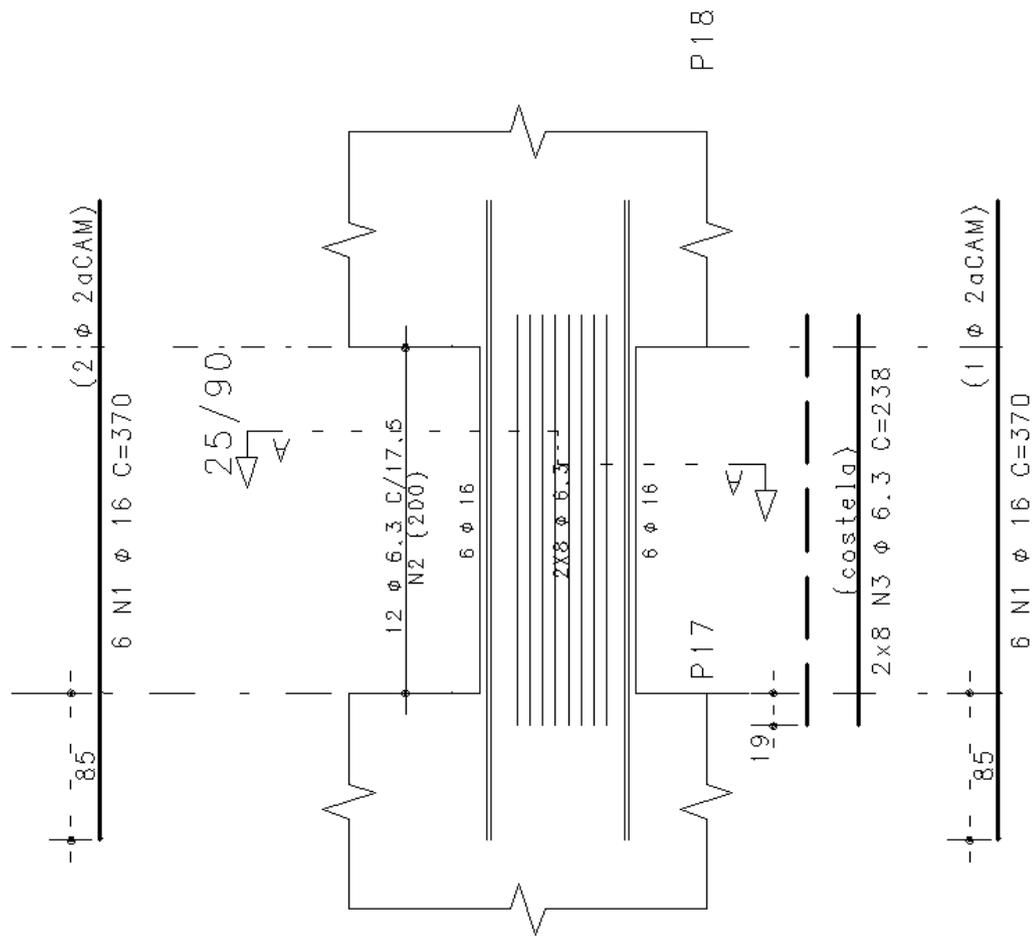


Figura 29 - pré-detalhamento viga 5

5. CÁLCULO DAS ARMAÇÕES NAS REGIÕES DAS ABERTURAS

Os critérios de cálculo utilizados para se chegar aos resultados deste capítulo foram apresentados no capítulo **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

A carga distribuída sobre a abertura foi considerada nula para efeitos desses cálculos. Apesar de indicada, a força normal existente na viga V5 não foi considerada no cálculo, uma vez que nenhum dos autores da revisão bibliográfica deste trabalho citam, explicitamente, uma maneira de incluir este esforço nos cálculos, porém no capítulo 6 o assunto será avaliado.

5.1. VIGA 1 (19/70)

Localção da abertura:

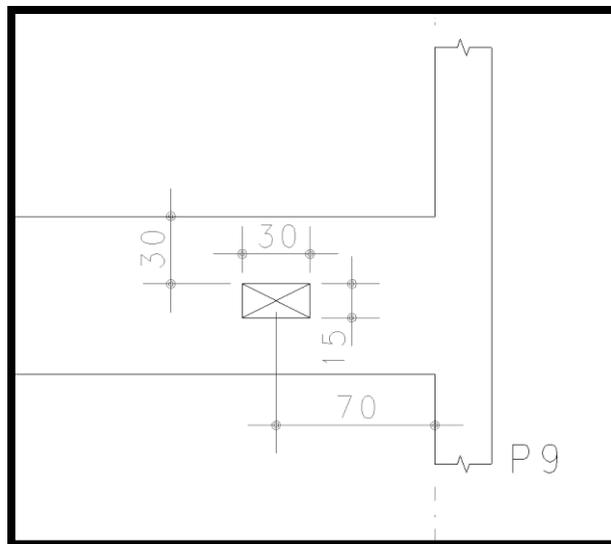


Figura 30 - locação da abertura - VIGA 1

Posição da linha neutra, calculada com auxílio do Software CAD/TQS:

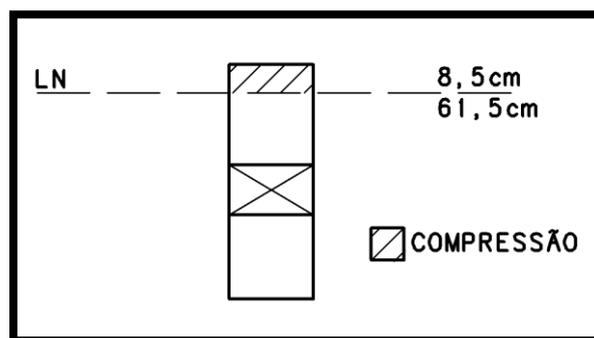


Figura 31 - posição da linha neutra - VIGA 1

Momento Fletor e Cortante no eixo da abertura, calculados com auxílio do Software CAD/TQS:

Momento Fletor	Cortante
----------------	----------

4,6 tfm	10,1 tf
---------	---------

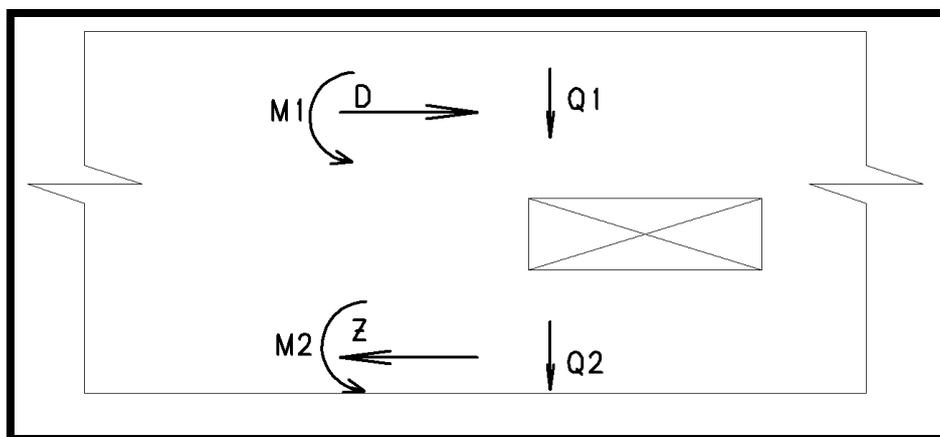


Figura 32 - resultado - VIGA 1

	M_1	D	Q_1	M_2	Z	Q_2
Süssekind	1,52	13,94	10,10	0,15	-13,94	1,01
Fusco	1,21	10,82	8,08	0,15	-10,82	2,02
Leonhardt	1,36	10,82	9,09	0,15	-10,82	1,01

5.2. VIGA 2 (19/70)

Locação da abertura:

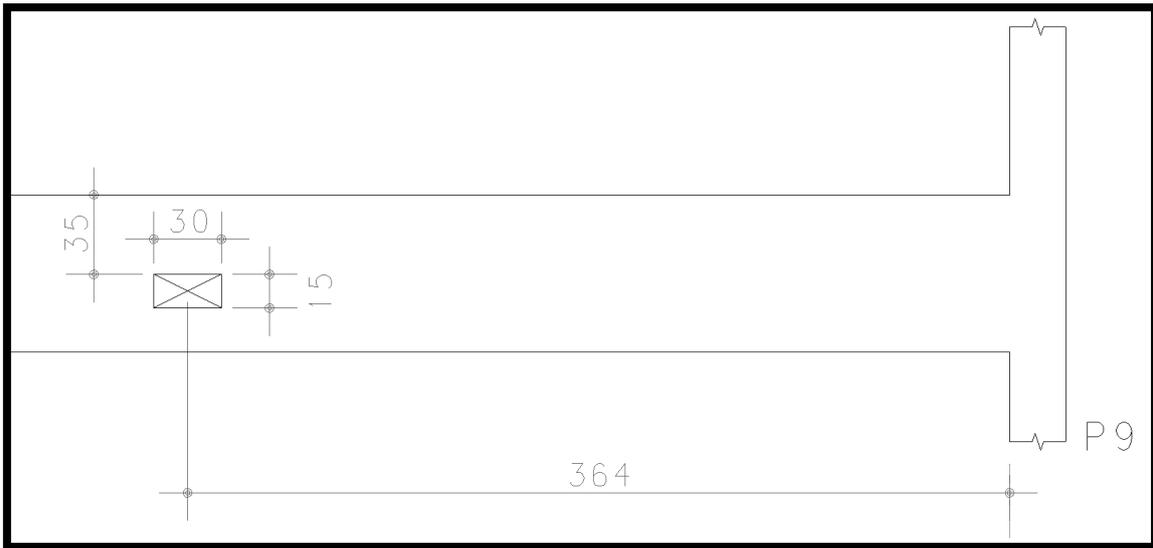


Figura 33 - locação da abertura - VIGA 2

Posição da linha neutra, calculada com auxílio do Software CAD/TQS:

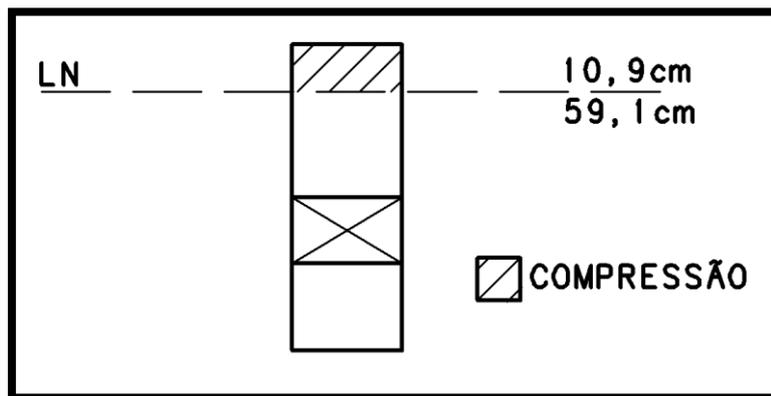


Figura 34 - posição da linha neutra - VIGA 2

Momento Fletor e Cortante no eixo da abertura, calculados com auxílio do Software CAD/TQS:

Momento Fletor	Cortante
18,9 tfm	nulo

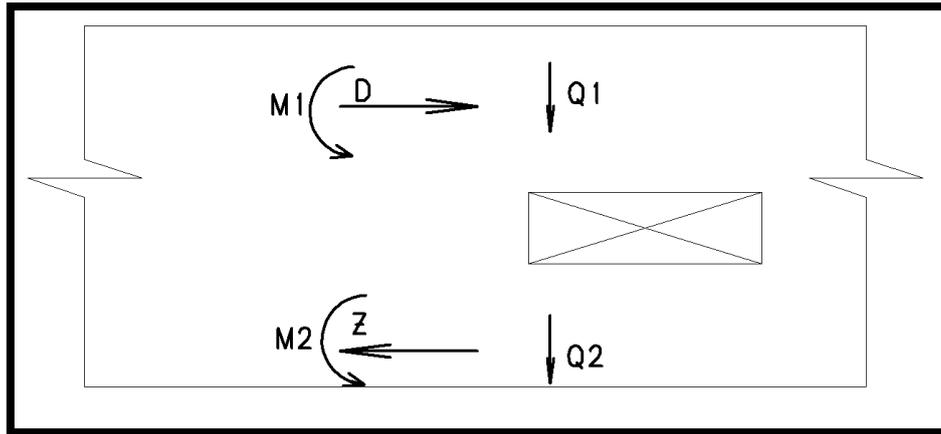


Figura 35 - resultados - VIGA 2

	M_1	D	Q_1	M_2	Z	Q_2
Süssekind	0	52,50	0	0	-52,50	0
Fusco	0	44,47	0	0	-44,47	0
Leonhardt	0	44,47	0	0	-44,47	0

5.3. VIGA 3 (19/70)

Locação da abertura:

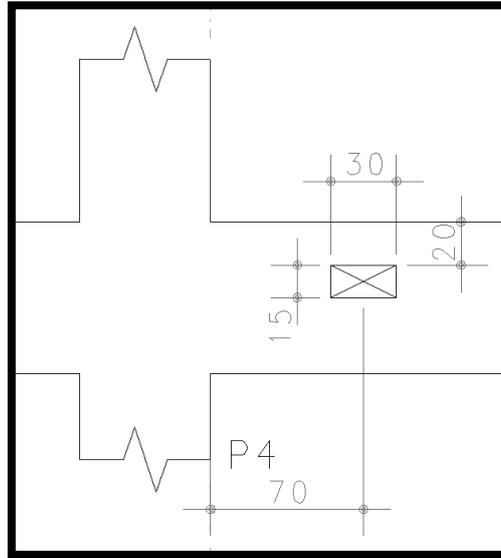


Figura 36 - locação da abertura - VIGA 3

Posição da linha neutra, calculada com auxílio do Software CAD/TQS:

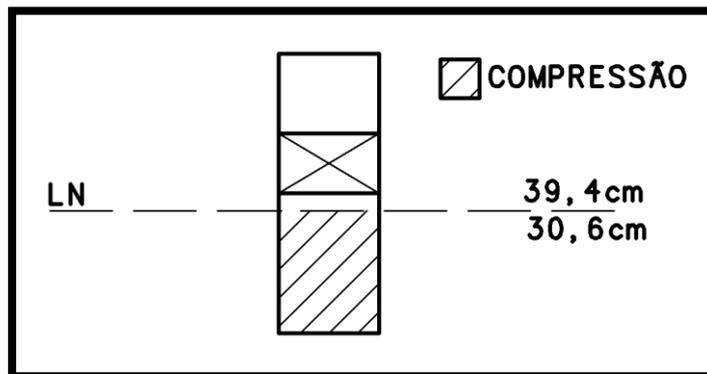


Figura 37 - posição da linha neutra - VIGA 3

Momento Fletor e Cortante no eixo da abertura, calculados com auxílio do Software CAD/TQS:

Momento Fletor	Cortante
-15,7 tfm	21,2 tf

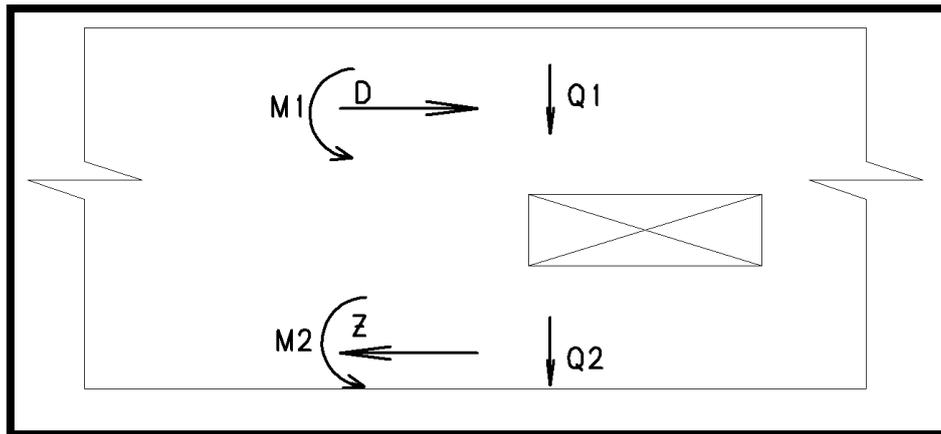


Figura 38 - resultado - VIGA 3

	M_1	D	Q_1	M_2	Z	Q_2
Süssekind	3,18	-58,15	21,20	0,318	58,15	2,12
Fusco	2,54	-36,94	16,96	0,32	36,94	4,24
Leonhardt	2,86	-36,94	19,08	0,32	36,94	2,12

5.4. VIGA 4 (19/70)

Locação da abertura:

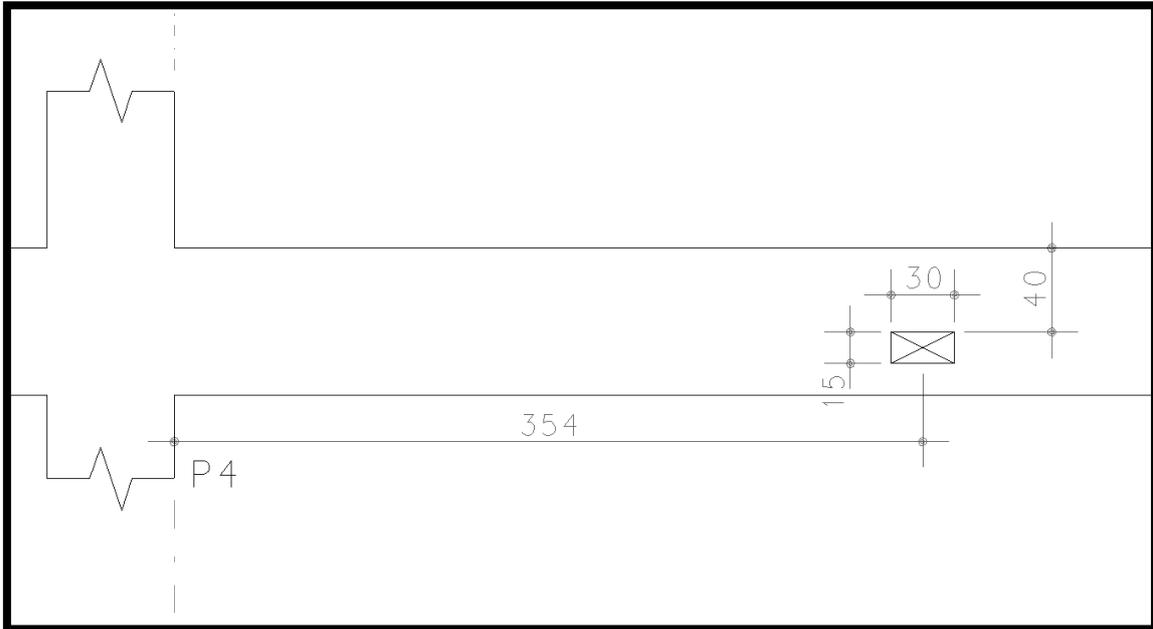


Figura 39 - locação da abertura - VIGA 4

Posição da linha neutra, calculada com auxílio do Software CAD/TQS:

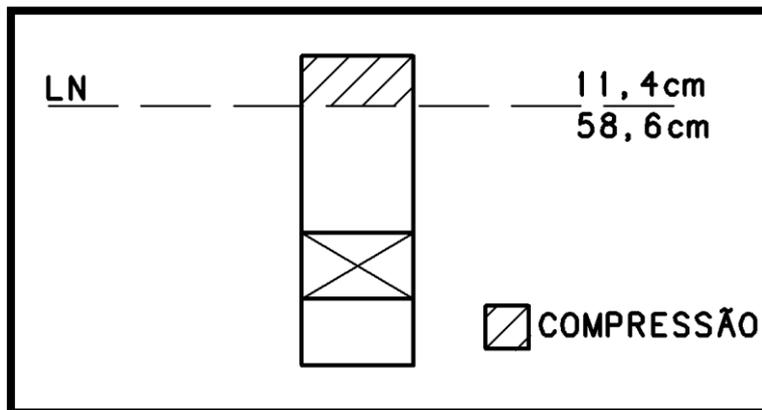


Figura 40 - posição da linha neutra - VIGA 4

Momento Fletor e Cortante no eixo da abertura, calculados com auxílio do Software CAD/TQS:

Momento Fletor	Cortante
18,6 tfm	3,7 tf

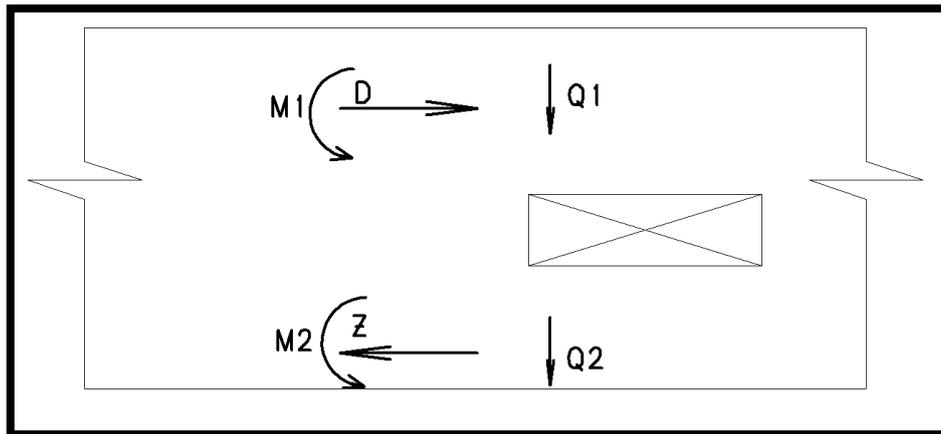


Figura 41 - resultados - VIGA 4

	M_1	D	Q_1	M_2	Z	Q_2
Süssekind	0,56	47,69	3,7	0,06	-47,69	0,37
Fusco	0,44	43,76	2,96	0,06	-43,76	0,74
Leonhardt	0,50	43,76	3,33	0,06	-43,76	0,37

5.5. VIGA 5 (25/90)

Locação da abertura:

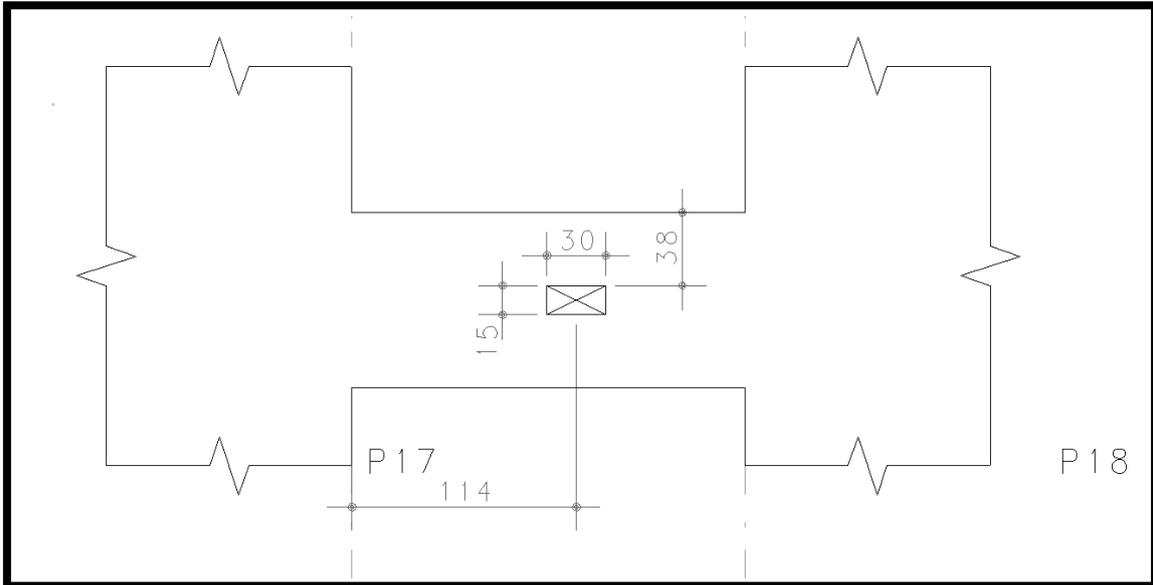


Figura 42 - locação da abertura - VIGA 5

Posição da linha neutra, calculada com auxílio do Software CAD/TQS:

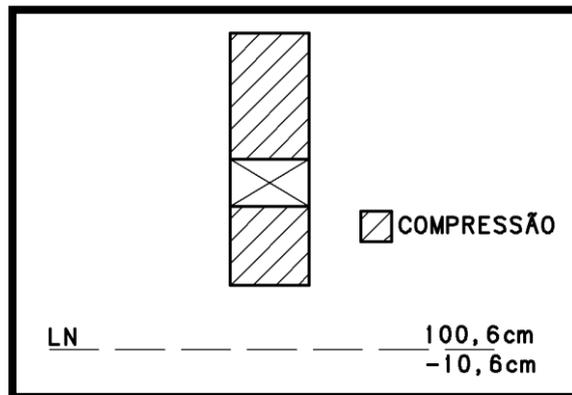


Figura 43 - posição da linha neutra - VIGA 5

Momento Fletor, Cortante e Normal no eixo da abertura, calculados com auxílio do Software CAD/TQS:

Momento Fletor	Cortante	Normal
-1,8 tfm ou +1,8 tfm	+17,6 tf ou -17,6 tf	-19,0 tf (compressão)

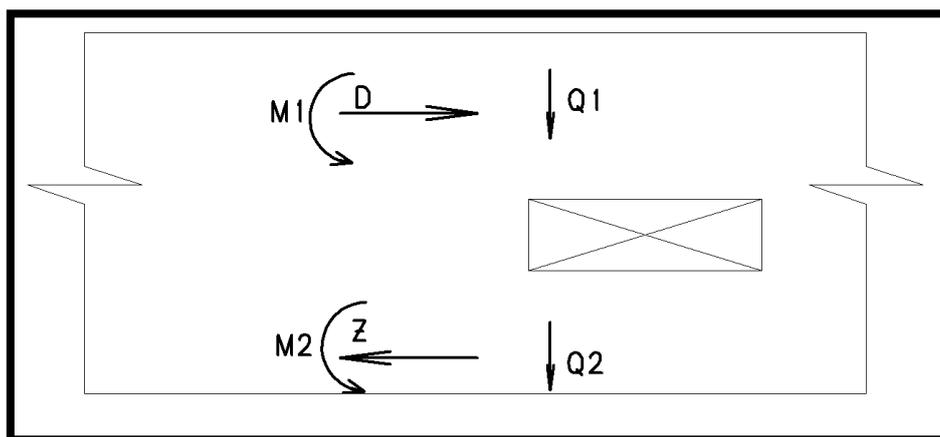


Figura 44 - resultado - VIGA 5

	M_1^*	D^*	Q_1^*	M_2^*	Z^*	Q_2^*
Süssekind	2,64	4,76	17,60	0,26	4,76	1,76
Fusco	2,11	3,43	14,08	0,26	3,43	3,52
Leonhardt	2,38	3,43	15,84	0,26	3,43	1,76

*valores em módulo, haverá esforços positivos negativos alternando ao longo da vida útil.

6. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Para análise e locação de aberturas nas vigas, fica clara a influência da determinação da posição da linha neutra e esforços para definir a melhor posição da abertura:

- a) Nota-se que na viga biapoiada, tanto na V1 quanto na V2, o banzo superior está comprimido na região do furo, sendo que na V1 a abertura pode ser posicionado mais próximo ao topo da viga, uma vez que o momento fletor era de menor grandeza próximo ao apoio.
- b) Para as vigas com continuidade, V3 e V4, quando a abertura foi posicionado próximo ao apoio, caso da V3, houve inversão da situação, uma vez que o banzo comprimido passou a ser o inferior, refletindo na locação desta abertura mais próximo ao topo da viga.
- c) Em uma viga como a V5, em que hora o banzo comprimido é o superior, hora é o inferior, a melhor opção é locar a abertura mantendo os banzos com alturas iguais.
- d) Neste trabalho não foram consideradas vigas “T” ou “L” para cálculo da posição da linha neutra. Apesar disso, sempre que possível, é interessante considerar a contribuição da laje na região de compressão, na maioria das vezes essa consideração melhora as condições de cálculo.

É interessante que a abertura esteja na região onde o esforço cortante é nulo. Os casos das vigas V2 e V4 são os mais favoráveis neste sentido, uma vez que a abertura está locada na região central dos vãos. É importante também salientar o caso particular da V5, onde a força cortante se mantém constante ao longo do vão.

Outra particularidade encontrada na viga V5 é a força normal que comprime a viga. Como dito no início do capítulo 5, nenhum dos autores da revisão bibliográfica deste trabalho citam, explicitamente, uma maneira de incluir este esforço nos cálculos. É necessária uma avaliação deste esforço considerando somente a seção transversal de concreto que restou na região da abertura (banzo superior + banzo inferior) acrescentando o valor da força normal aos valores de D e Z calculados no capítulo 5.5. A viga V5 tem toda sua seção comprimida, quando analisada acrescentando a força normal, nesta viga o furo não é aconselhável e em linhas gerais, o engenheiro deve ter cuidado redobrado na análise de furos em vigas com esforços desta ordem de grandeza, tendo como artifício, a utilização de armadura de compressão para levar a linha neutra a uma posição mais favorável, assim como recomendado por Süssekind (1999).

Os esforços nos banzos obtidos pelos critérios dos três autores foram muito parecidos, mostrando que, um furo que apresenta problemas para ter suas armaduras dimensionadas não deixará de ser problemático caso os critérios de cálculo sejam alterados.

O detalhamento das armaduras deve ser conforme a seguinte imagem, com a armação devido à flexão normal composta devidamente ancorada a partir das faces da abertura:

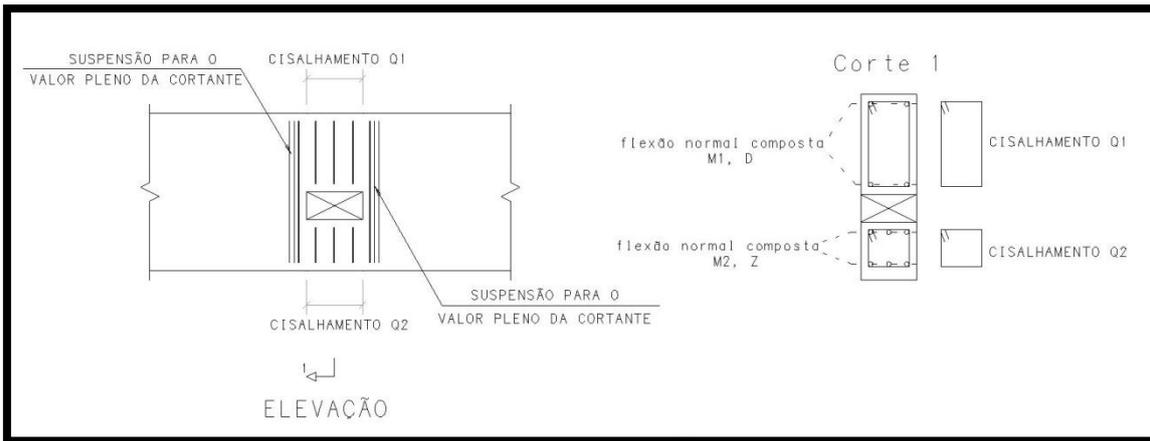


Figura 45 - Esquema de armação

Em linhas gerais, este trabalho mostrou as considerações de cálculo presente na bibliografia de alguns autores renomados e apontou para os principais cuidados que o engenheiro deve tomar no dimensionamento de uma abertura em alma de vigas. Vale salientar que além dos recursos técnicos apresentados, é sempre interessante que os projetistas e a coordenação de projetos busquem alternativas que minimizem a quantidade de aberturas em vigas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

SÜSSEKIND, J. C. Curso de Concreto - Volume II. 4ª edição. Editora Globo, 1999.

FUSCO, P. B. A técnica de armar estruturas de concreto. 2ª edição. Editora Pini, 2013.

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. Construções de concreto: princípios básicos sobre a armação de estruturas de concreto armado - volume 3. Editora Interciência, 1978.

SISTEMA CAD/TQS, versão 18.14.61, TQS informática Ltda.