

7. ESCADAS. COMENTÁRIOS SOBRE ALGUMAS ESCADAS USUAIS DE EDIFÍCIOS. PROJETO DAS ESCADAS DO EDIFÍCIO-EXEMPLO.

7.1. Verificação das principais limitações geométricas a serem respeitadas para uma boa funcionalidade das escadas.

O engenheiro projetista de estruturas recebe, em geral, o projeto arquitetônico da escada quase completo, a nível de ante-projeto. Conforme a maior ou menor complexidade do tipo de escada, recomenda-se a participação conjunta do engenheiro e do arquiteto no projeto, respectivamente, em maior ou menor intensidade.

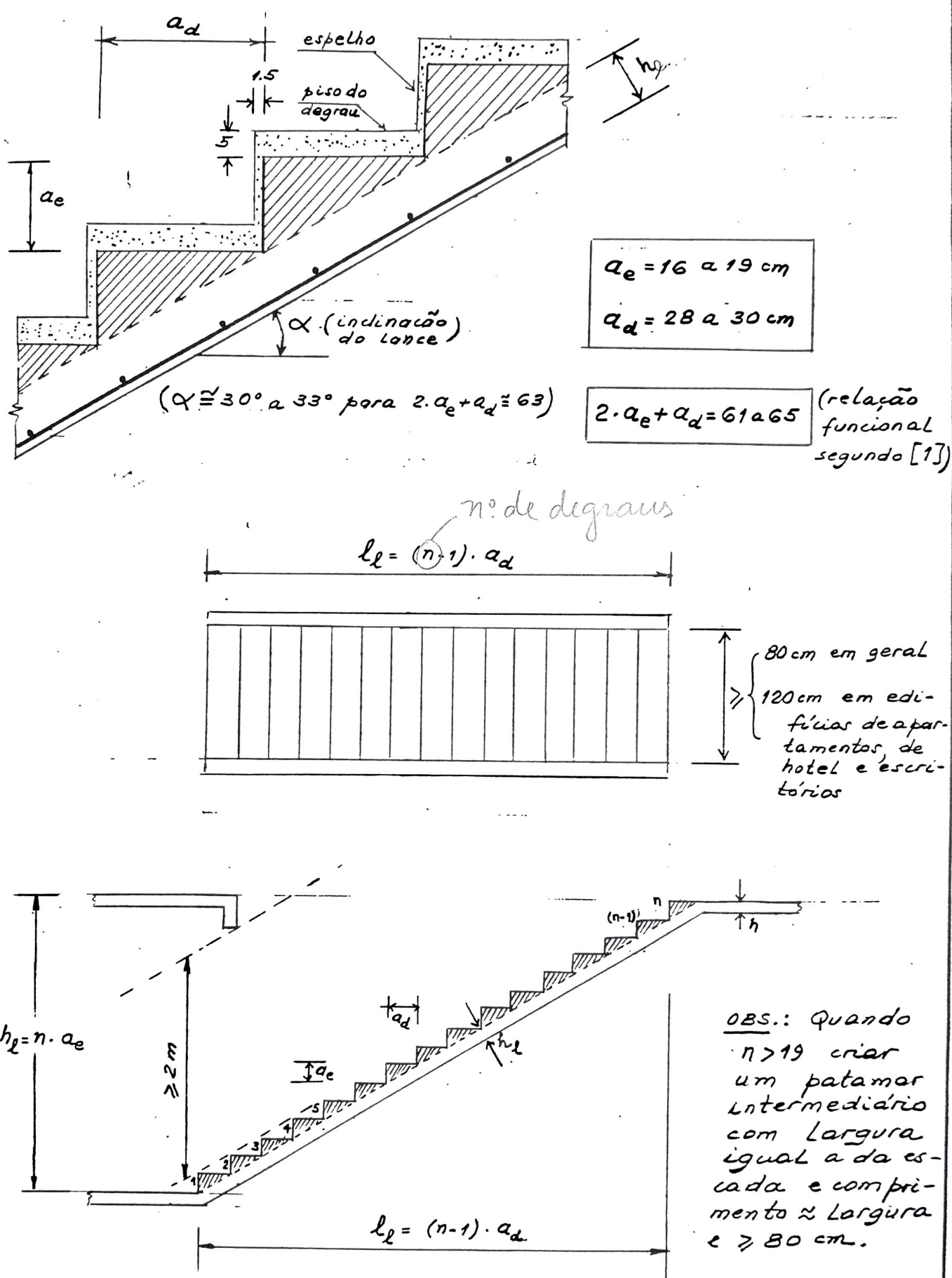
Para os casos usuais, pouca (ou nenhuma) adaptação ao ante-projeto de arquitetura é necessária para a otimização da estrutura da escada.

Recomenda-se, no entanto, que o engenheiro de estruturas tome sempre como norma, antes mesmo de escolher a so-

lução estrutural e começar os cálculos, verificar as principais dimensões da escada (geometria) que definem a sua boa funcionalidade (definição dos degraus, comprimento e altura do(s) Lance(s), necessidade ou não de patamares, respeito aos gabaritos verticais, etc).

Os erros nessas definições ocorrem com certa frequência (erros de desenho, conceito, etc) e muitas vezes são percebidos tão somente quando a obra já está executada e em funcionamento ou, em situação menos grave - mas ainda não desejável, quando os cálculos e desenhos de formas e de armação estão totalmente prontos.

A notação empregada e as principais verificações a serem feitas estão indicadas, de forma esquemática, na figura 7.1-1.



OBS.: Quando $n > 19$ criar um patamar intermediário com largura igual a da escada e comprimento \approx largura e $\geq 80 \text{ cm}$.

Fig. 7.1-1. Algumas limitações práticas para uma boa funcionalidade das escadas

7.2. Carregamento das escadas

As cargas a serem consideradas no cálculo são:

- a) peso próprio (laje + enchimento variável)
- b) revestimento
- c) sobrecargas acidentais (NB-5); caso particular de degraus isolados (verificação da viga da escada)
- d) carga de parapeito
- e) cargas localizadas para verificação de degraus isolados.

7.2.1. Peso próprio (laje + enchimento variável)

O peso próprio é em geral avaliado por m^2 de projeção horizontal, tanto para o patamar (procedimento usual para as lajes horizontais) como para os trechos inclinados.

É pouco usual e prática a representação da carga por m^2 de superfície inclinada. A explicação dos dois critérios e suas equivalências é obtida a partir da Fig. 7.2.1-1

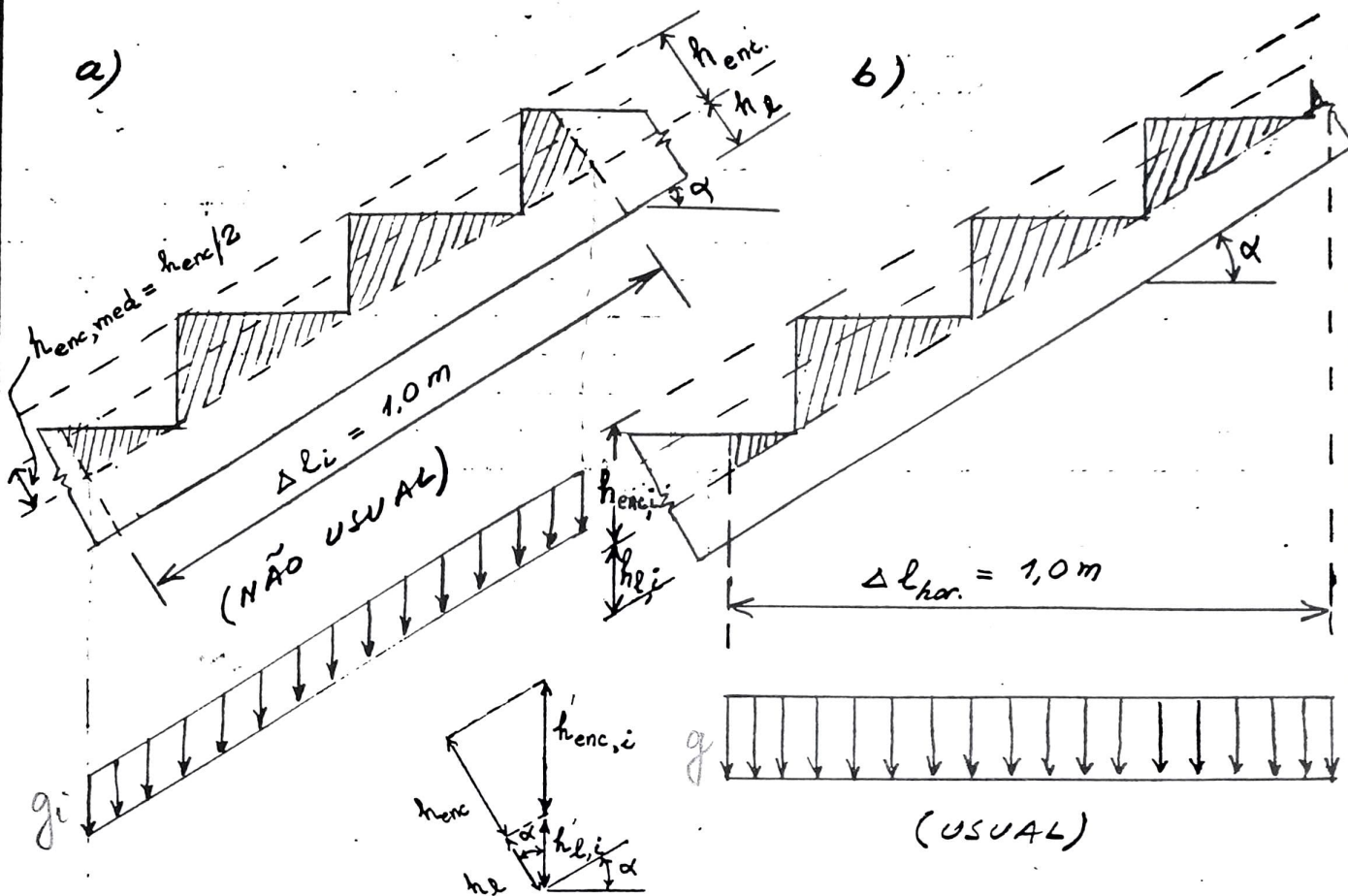


Fig. 7.2.1-1. Cargas na superfície inclinada (a) e na projeção horizontal (b)

Por m^2 de superfície inclinada:

$$g_i = \gamma_{conv} (h_e + h_{enc, med})$$

$$g_i = \gamma_{conv} (h_e + h_{enc}/2)$$

Por m^2 de projeção horizontal:

$$g = \gamma_{conv} (h_{e, i} + h_{enc, i}/2) = \gamma_{conv} (h_e + h_{enc}/2) / \cos \alpha$$

$$g = g_i / \cos \alpha$$

e portanto $g > g_i$

É fácil comprovar que a carga é a mesma

é a mesma para os dois casos.

Por exemplo, para $\Delta l_{hor} = 1,0$ a resultante vale: $\Delta G_{hor} = g \times 1,0 = g$

$\Delta l_{hor} = 1,0$ corresponde a $\Delta l_i = \frac{1,0}{\cos \alpha}$ e

$$\Delta G_{inc} = g_i \times \Delta l_i = (g \cdot \cos \alpha) \times \frac{1,0}{\cos \alpha} = g$$

e portanto $\Delta G_{hor} = \Delta G_{inc}$

OBS: Para a região do patamar, $\alpha = 0$ e $h_{enc} = 0$, ficando $g_p = \gamma \cdot h_p$

7.2.2. Revestimento

Para se avaliar com boa precisão a carga de revestimento, deve-se dispor do detalhamento do degrau da escada, em geral apresentado apenas no projeto executivo de arquitetura.

Para os revestimentos usuais, a carga por m^2 de projeção horizontal varia na faixa de $0,5$ a $1,0 \text{ KN/m}^2$ ($0,05$ a $0,10 \text{ tf/m}^2$ ou 50 a 100 kgf/m^2).

Dispondo-se apenas do ante-projeto de arquitetura, toma-se, a favor da segurança, $1,0 \text{ KN/m}^2$ (100 kgf/m^2) que coincide aproximadamente com o revestimento de granilite, considerado também o revestimento do estelão.

7.2.3. Sobrecargas acidentais (NB-5);
caso particular de degraus
isolados (verificação da vi-
ga da escada)

- sobrecargas mínimas: (caso geral,
NB-5, Tab 2.2.1.2)

a) escadas com acesso ao público:

3 KN/m^2 (300 kgf/m^2) para escadas em
espinta de piso e
pouco. vide folha 7.9

b) escadas sem acesso ao público:

$2,5 \text{ KN/m}^2$ (250 kgf/m^2)

- sobrecargas para o caso particular
de escadas com degraus isolados

Nesse caso particular, a NB-5 [2] item 2.2.1.7 fornece critério para a verificação do degrau, concentrando uma carga (pessoas) na posição mais desfavorável (*) e recomenda explicitamente:

..... " Este carregamento não deve ser considerado na composição de cargas

(*) Ver item 7.2.3

das vigas que suportam os degraus, as quais deverão ser calculadas para carga indicada na Tabela 2.2.1.2" (*)

Convém dispensar uma atenção especial na aplicação dessa recomendação da NB-5, pois, em boa parte dos casos pode se ficar contra a segurança.

Vamos ilustrar através de um exemplo prático. Para a escada com degraus em balanço da Fig. 7.2.3-1, temos, para o cálculo da viga, pela recomen-

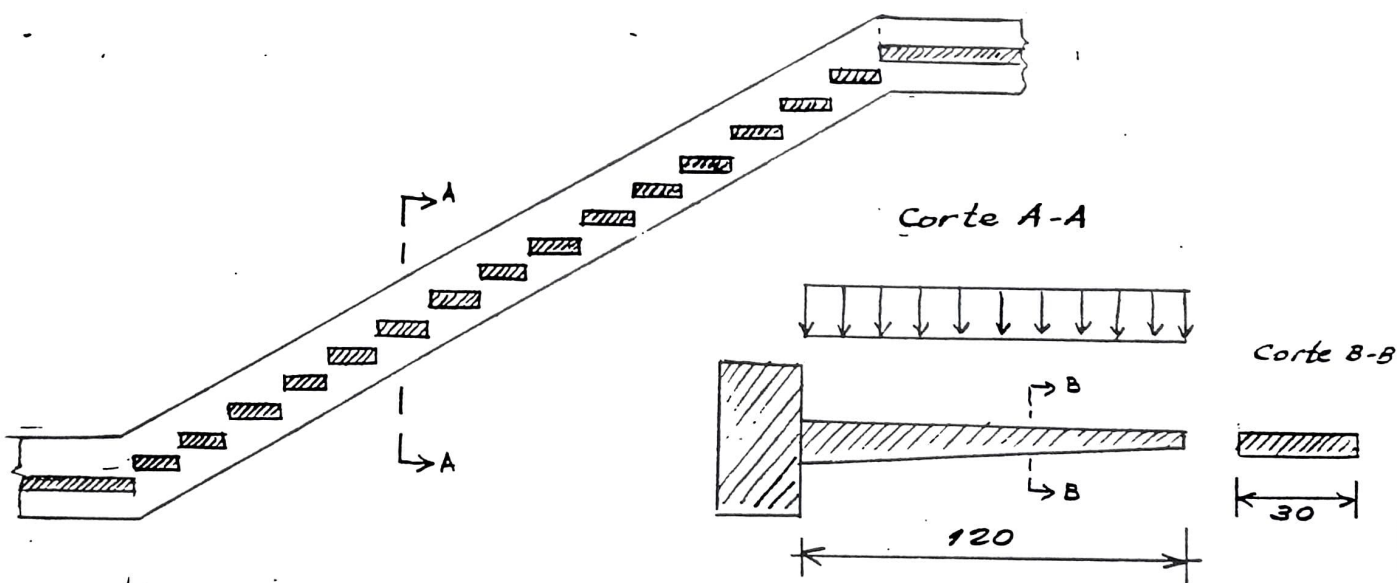


Fig. 7.2.3-1. Exemplo de escada com degraus isolados em balanço, para a discussão do critério da NB-5.

(*) As cargas dessa Tabela 2.2.1.2 estão indicadas aqui em 7.2.3 a) e b).

daição da NB-5, supondo, por exemplo, escada sem acesso ao público:

$$\text{sobrecarga} = 2,5 \text{ KN/m}^2 \text{ (250 kgf/m}^2\text{)}$$

Sabe-se, no entanto que é perfeitamente possível 2 pessoas carregarem simultaneamente um mesmo degrau (e em casos excepcionais até 3). Considerando-se duas pessoas com $\approx 0,8 \text{ KN}$ (80 kgf) cada, o valor da sobrecarga fica (dimensões nos cortes A-A e B-B da Fig. 7.2.3-1):

$$\text{sobrecarga} = \frac{2 \times 0,8}{0,30 \times 1,20} = 4,4 \text{ KN/m}^2 \text{ (444 kgf/m}^2\text{)}$$

Note-se que a sobrecarga efetiva, no caso, é quase o dobro da recomendada pela NB-5. É bem verdade que o carregamento é pouco frequente, mas pode ocorrer.

7.2.4. Carga de parapeito

Conforme o item 2.2.1.5 da NB-5 [2] :

" Ao longo dos parapeitos e balcões devem ser consideradas aplicadas, uma carga horizontal de $0,8 \text{ kN/m}$ (*) na altura do corrimão e uma carga vertical mínima de 2 kN/m (**)"

Para o caso de parapeito de escadas indica-se esquematicamente a aplicação da recomendação acima, na Fig. 7.2.4-1.

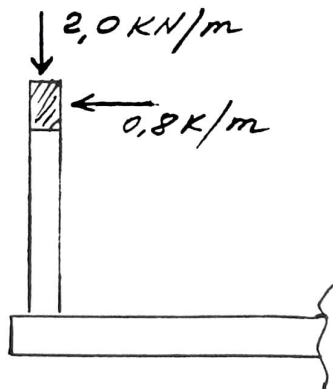


Fig. 7.2.4-1. Cargas a serem consideradas nos corrimãos (parapeitos das escadas).

(*) Igual a 80 kgf/m

(**) Idem, a 200 kgf/m

7.2.5. Cargas localizadas para verificação de degraus iso- lados.

Em casos, como por exemplo como o da Fig. 7.2.3-1, para a verificação e dimensionamento do degrau em balanço deve-se considerar a aplicação de uma carga concentrada de 2,5 kN (250 kgf) na posição mais desfavorável (no caso, evidentemente, a sua extremidade) (item 2.2.1.7 da NB-5 [2]).

7.3. Alguns tipos usuais de escadas

7.3.1. Classificação das escadas quanto ao seu funcionamento estrutural

7.3.1.1. Escadas em viga

- a) reta com degraus isolados em balanço ("espinha de peixe") (*)
- b) curva helicoidal, com degraus isolados em balanço

7.3.1.2. Escadas em laje

- a) armada longitudinalmente (*)
- b) armada transversalmente (*)
- c) em balanço, com engastamento em viga reta ou em paredes estruturais (*).
- d) armada em duas direções (em cruz) (*)
- e) helicoidal

7.3.1.3. Escadas em pilares

a) com degraus isolados em balanço

b) com lajes em balanço

7.3.1.4. Outras (*)

7.3.2. Solução estrutural dos tipos mais usuais

O cálculo dos esforços nas escadas, particularmente das estruturadas em lajes é bastante complexo, devido ao comportamento espacial de boa parte das mesmas. As solicitações em geral são de flexão-compressão e flexão-tração e não apenas de flexão simples. Na prática procura-se simplificar os esquemas estruturais para viabilizar o cálculo e detalhamento, uma vez que a sofisticação nos cálculos conduziria a elevados custos de projeto, não se justificando economicamente para pequenas estruturas e ainda

mais, sendo para os casos usuais, os esforços muito pequenos.

Há certos casos em que o esquema estrutural adotado é quase perfeito, como por exemplo no caso das escadas em vigas com degraus em balanço ou mesmo nas escadas em laje, estreitas, armadas longitudinalmente.

Neste curso analisam-se apenas os tipos mais usuais em edifícios, (indicados com * na classificação do item 7.3.1)

7.3.2.1. Escadas em viga reta
com degraus isolados em
balanço

Analisa-se a mesma escada da Fig. 7.2.3.1, admitindo-se a viga apoiada nas suas extremidades em elementos estruturais que lhe conferem engastamento a torção, necessários ao equilíbrio da estrutura. Repete-se na Fig. 7.3.2.1-1 a mesma escada, com detalhes adicionais.

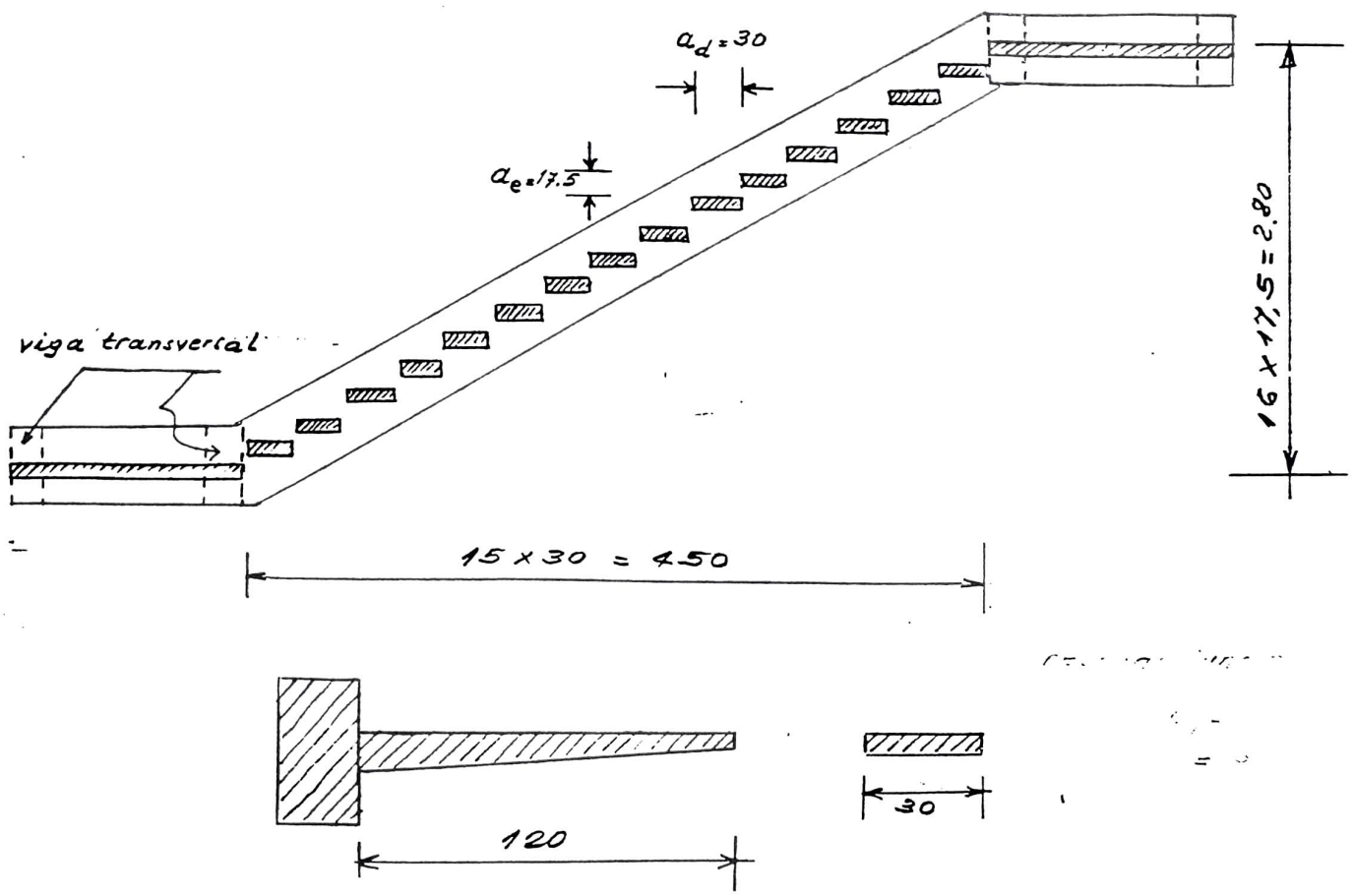


Fig. 7.3.2.1-1. Escada em viga reta com degraus em balanço.

a) verificação do degrau isolado.

A carga acidental é adotada conforme apresentado no item 7.2.5.

A relação funcional (ver fig. 7.1-1) é verificada pois $2 \cdot a_e + a_d = 2 \times 17,5 + 30 = 65$.

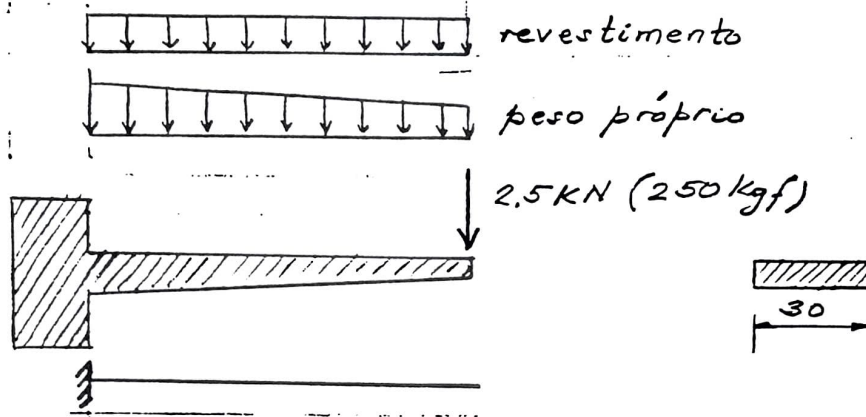


Fig. 7.3.2.1-3. Carregamento do degrau isolado.

Verificar a seção de engaste a flexão e a cisalhamento.

O cisalhamento será verificado como viga.

Deve-se ancorar bem a armadura de flexão para que possa ser transmitida perfeitamente a torção para a viga (*).



Fig. 7.3.2.1-3. Detalhamento

(*). Para o cálculo da torção na viga deve-se considerar, evidentemente, o momento das cargas em relação ao eixo de viga.

b) verificação da viga

No esquema estrutural apresentado, a viga está apoiada continuamente nas extremidades de outras quatro vigas, obtendo-se dessa maneira os esforços solicitantes devido a flexão vertical (M_v , V_v e N_v), sendo M_v e V_v preponderantes no dimensionamento. No presente caso, como é evidente, o trecho central inclinado praticamente engasta à flexão nos tramos extremos, devido a grande diferença de rigidez, se todos os apoios puderem ser supostos indesejáveis. Ver Fig. 7.3.2.1-4.

Na Fig. 7.3.2.1-5 representa-se o carregamento devido a excentricidade da carga, aplicado em um plano vertical (por unidade de comprimento na projeção horizontal) os quais originam momentos resultantes M^* que agem no apoio (engaste) em uma seção vertical da viga sendo inclinada em relação a seção transversal da viga e portanto não sendo o esforço solicitante momento de torção.

Na Fig. 7.3.2.1-6 indica-se uma decomposição de carregamentos visando obter-se os esforços solicitantes clássicos, conforme sugere Gertsenchtein em [4]

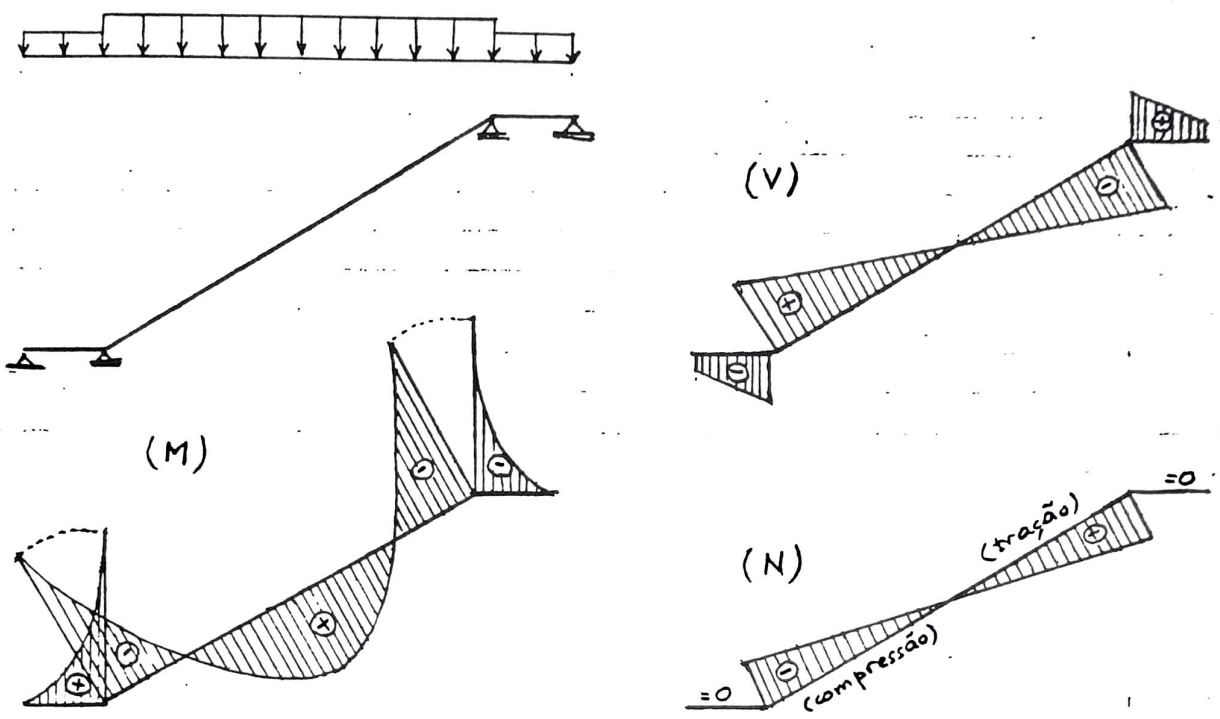
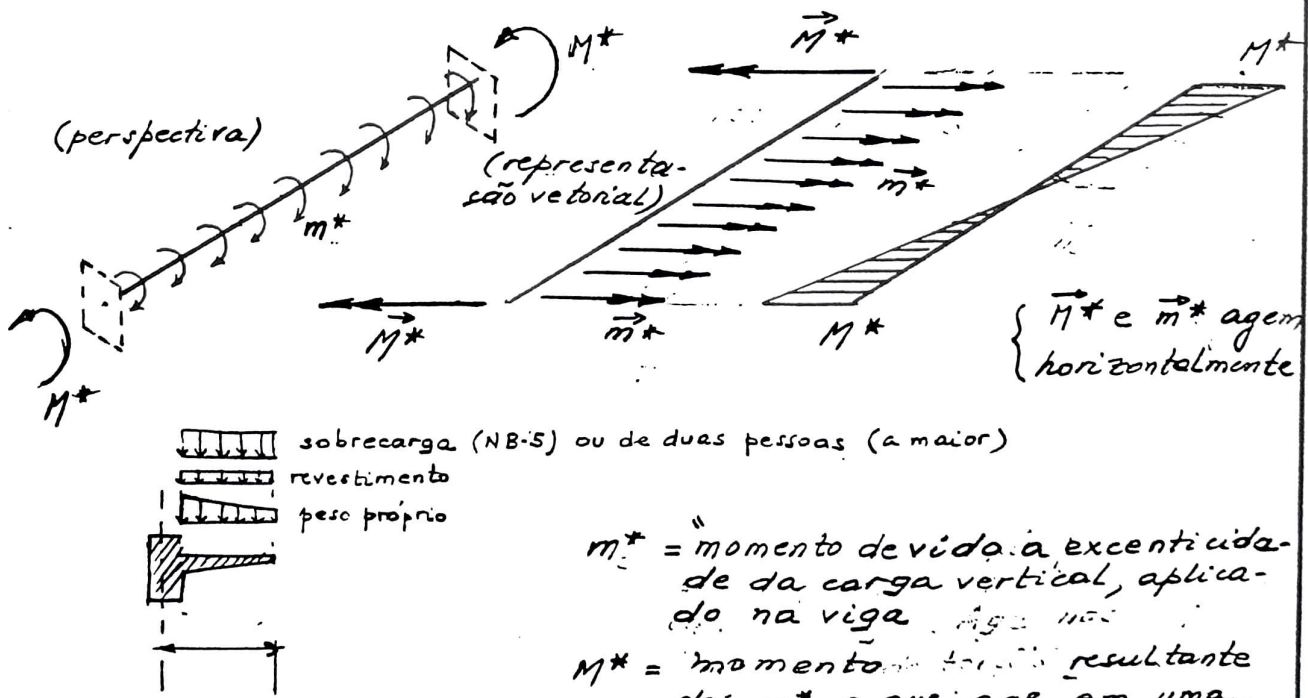


Fig. 7.3.2.1-4 Diagrama de esforços solicitantes na viga devido a flexão no plano vertical.



m^* = momento devido a excentricidade da carga vertical, aplicado na viga.
 M^* = momento resultante dos m^* e que age em uma seção vertical da viga (não é seção transversal e portanto não é esforço solicitante (o verdadeiro momento de torção)).

Fig. 7.3.2.1-5 Torção no trecho inclinado da viga.

Para a adoção da sobrecarga a ser considerada na viga, recomendamos adotar-se o maior valor entre o indicado pela NB-5 (2,5 ou 3,0 KN/m^2) e o obtido, de forma mais real, pela consideração da presença de duas pessoas por degrau, simultaneamente, na escada.

Conforme já se exemplificou em 7.2.3, no presente caso, para a segunda hipótese resulta 4,4 KN/m^2 ; maior que 2,5 KN/m^2 (nosso caso, supondo escada sem acesso ao público) e portanto mais desfavorável.

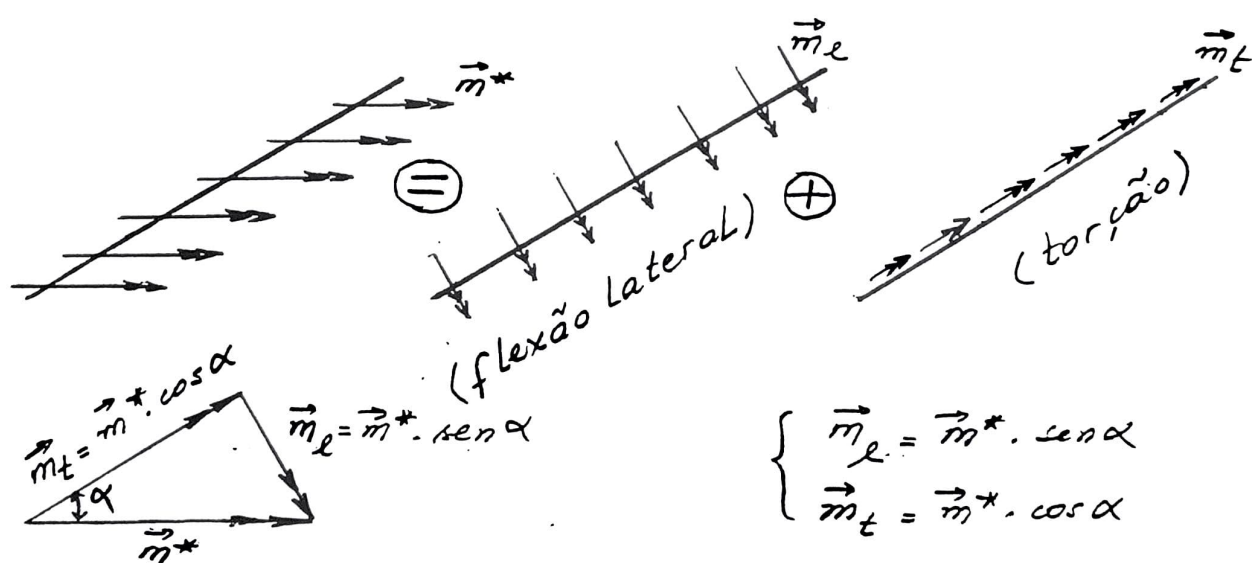


Fig. 7.3.2.1-6. Decomposição do carregamento m^* em uma flexão lateral e uma torção.

Para o carregamento de torção, o valor do momento de torção no apoio e' (com $l_i = l / \cos \alpha$)

$$M_t = m_t \cdot x \cdot \frac{l_i}{2} = m^* \cdot \cos \alpha \times \frac{l}{2 \cos \alpha} = m^* \frac{l}{2}$$

$$M_t = m^* \frac{l}{2}$$

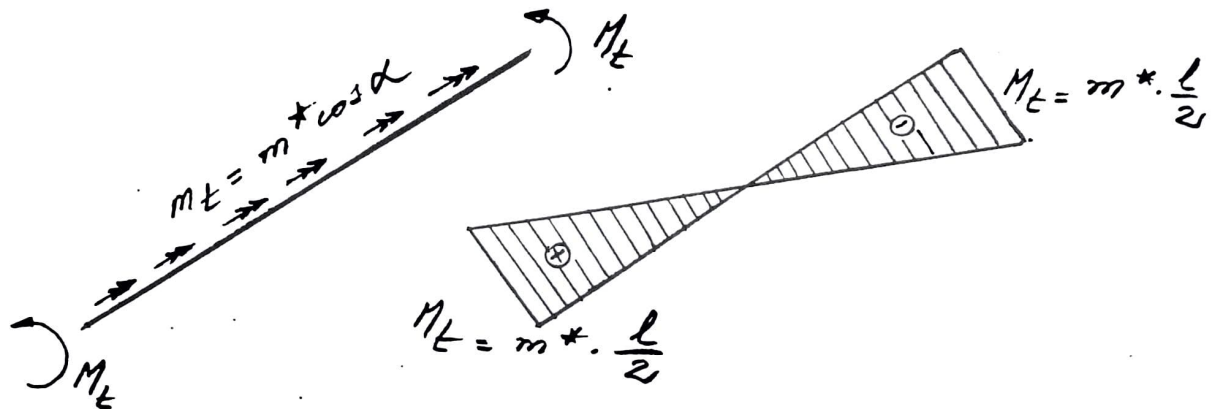


Fig. 7.3.2.1-6. Diagrama de momentos de torção

O carregamento de flexão lateral produzirá os esforços mostrados a seguir (acompanhar pela Fig. 7.3.2.1-7)

$$M_{lat} = H_l \cdot x - m_l \cdot x$$

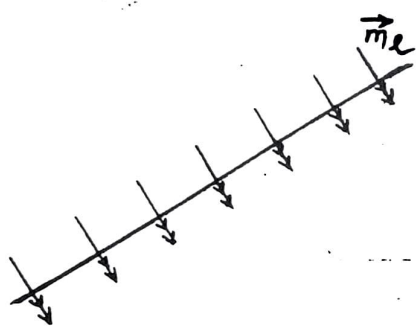
$$l_i = l / \cos \alpha \quad \Sigma m_l = m_l \cdot \frac{l}{\cos \alpha}$$

$$H_l = \frac{\Sigma m_l}{l_i} = \frac{m_l \cdot \frac{l}{\cos \alpha}}{\frac{l}{\cos \alpha}} = m_l \quad \text{e portanto}$$

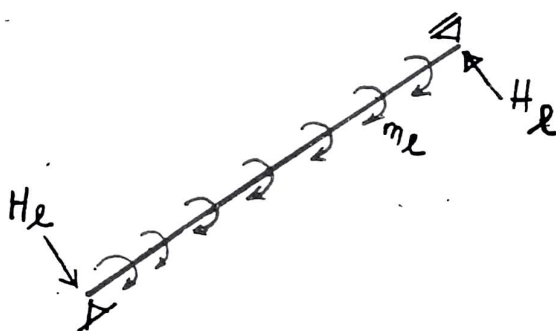
$$M_{lat} = m_l \cdot x - m_l \cdot x = 0 \quad \text{para qualquer } x,$$

isto é, o momento fletor lateral é nulo em toda a extensão da viga (trecho inclinado).

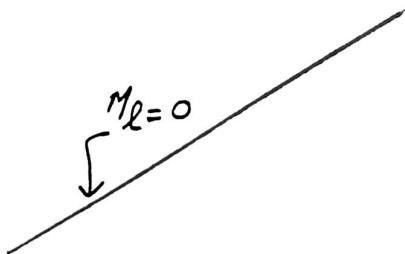
A força horizontal H_L nas extremidades é o único esforço que aparece devido ao carregamento de flexão lateral (força constante agindo em um plano horizontal).



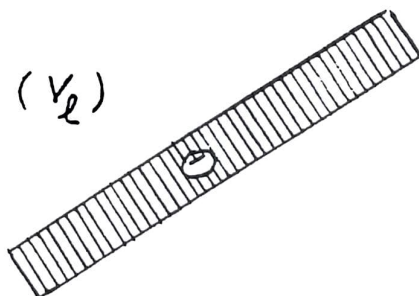
representação vetorial



representação física (olhando verticalmente e perpendicularmente ao eixo da viga)



Momentos fletores laterais (nulos)



Forças cortantes laterais

Fig. 7.3.2.1-7. Esquemas para obtenção e valores dos esforços solicitantes devidos ao carregamento de flexão lateral.

Portanto, os esforços a serem utilizados no dimensionamento da viga são:

(a) carregamento suposto centrado (flexão no plano vertical)

$$M_v, V_v, N_v \quad (\text{Fig. 7.3.2.1-4})$$

(b) carregamento suposto excêntrico (torção mais flexão lateral)

$$M_t \quad (\text{Fig. 7.3.2.1-6})$$

$$M_l = 0, V_l = H_l \quad (\text{Fig. 7.3.2.1-7})$$

Lembra-se também que, em certos casos, pode ser muito importante a verificação da deformabilidade a torção, considerando a peça fissurada (estado II), situação onde há queda considerável de rigidez (K_T) em relação a peça não fissurada.

Pode-se tomar, aproximadamente:

$$K_T^{II} \cong \frac{1}{5} K_T^I \rightarrow (G I_t)^{II} \cong (0,3 E_c I_t)^I$$

Para maiores detalhes, veja-se o capítulo 7 de Leonhardt [3]

7.3.2.2. Escada em laje armada longitudinalmente

Nesse caso o cálculo estático é feito como se fosse uma viga inclinada de largura igual a largura da escada e de vão horizontal igual a distância horizontal entre os eixos dos apoios (no caso das vigas, para o caso da Fig. 7.3.2.2-1)

O caso fundamental de um trecho inclinado é estudado a seguir:

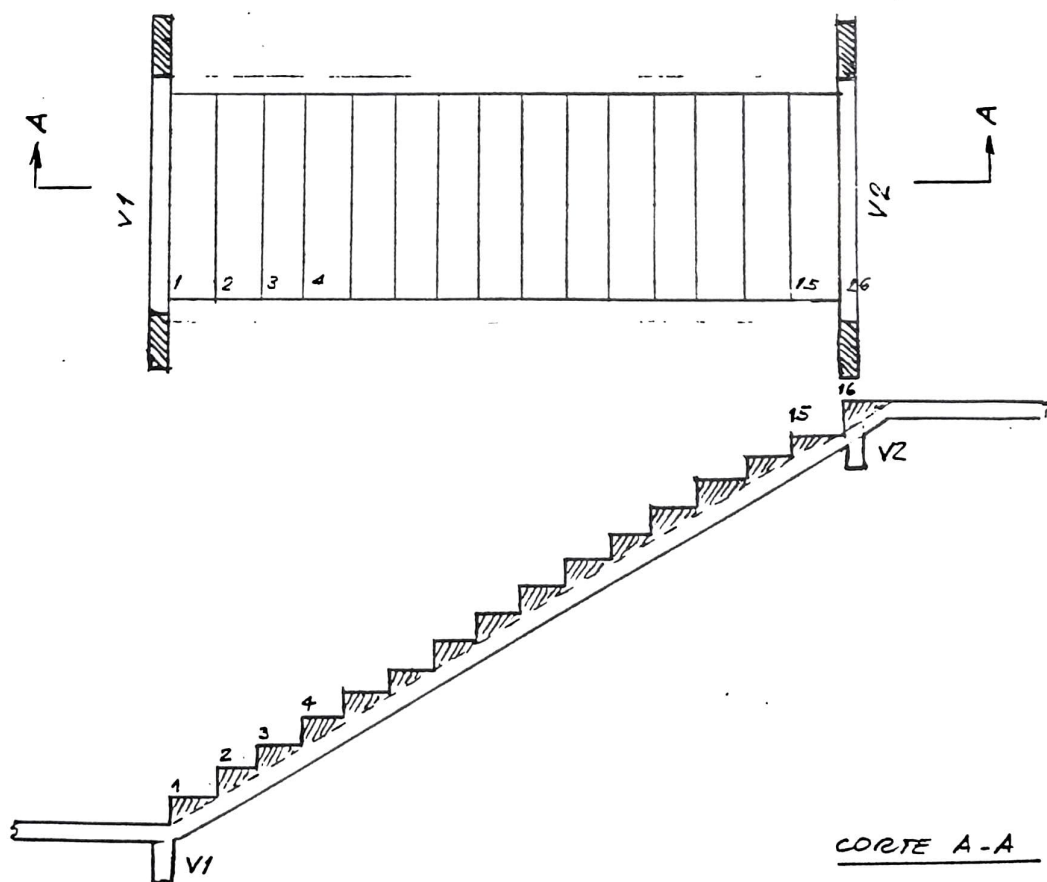


Fig. 7.3.2.2-1. Exemplo de uma escada em laje armada longitudinalmente e apoiada em duas vigas. (caso fundamental)

O esquema estático admitido está indicado na Fig. 7.3.2.2-2.

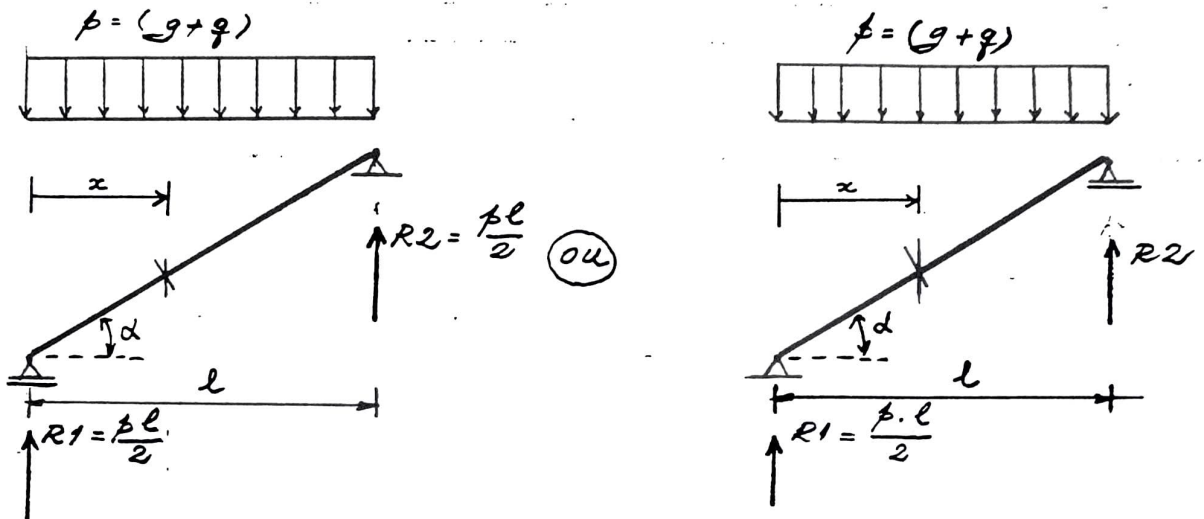


Fig. 7.3.2.2-2. Esquema estático admitido para o cálculo dos esforços solicitantes em uma escada em laje armada longitudinalmente

Com a notação da citada figura tem-se:

$$M_x = \frac{p \cdot l}{2} \cdot x - p \frac{x^2}{2}$$

$$V_x = \left(\frac{p \cdot l}{2} - p \cdot x \right) \cdot \cos \alpha$$

$$N_x = \left(\frac{p \cdot l}{2} - p \cdot x \right) \cdot \sin \alpha$$

Os diagramas de esforços solicitantes estão indicados na Fig. 7.3.2.2-2

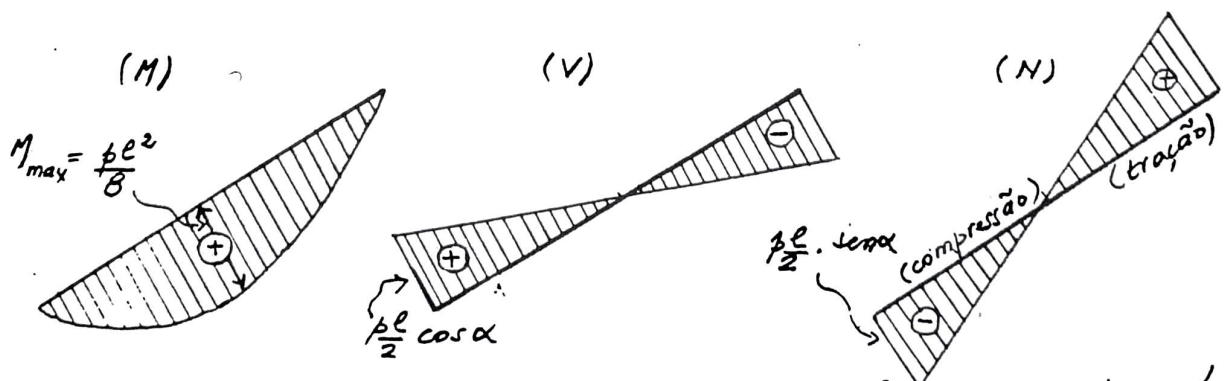


Fig. 7.3.2.2-2 - Diagramas de esforços solicitantes

Exemplo 1: Escada com 2 lances armados longitudinalmente.

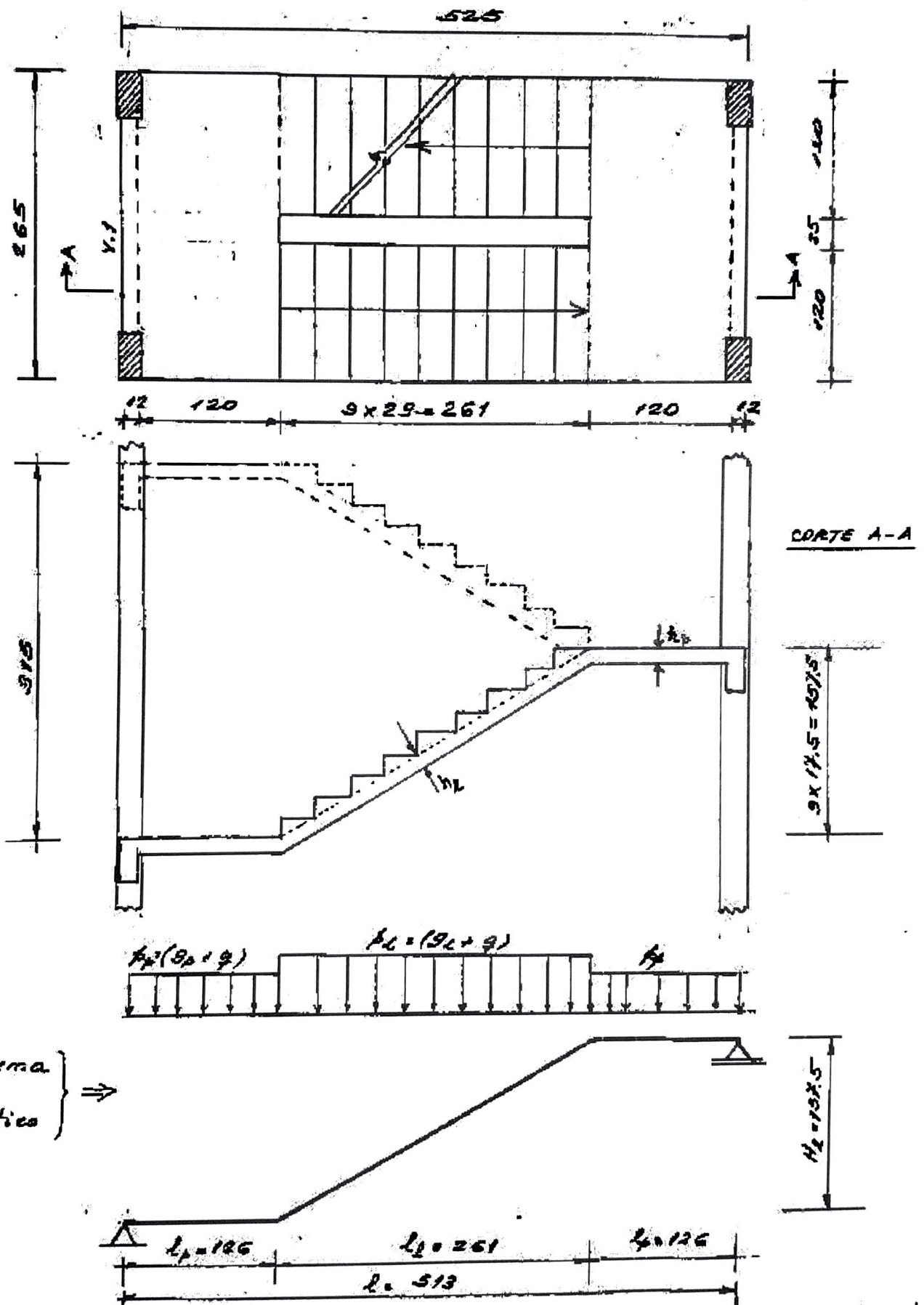


Fig. 7.3.2.2-3. Exemplo de uma escada com armação longitudinal (dois lances). Será colocada apenas armadura de ligação (normal a horizontal) no balcão, ligando dois lances.

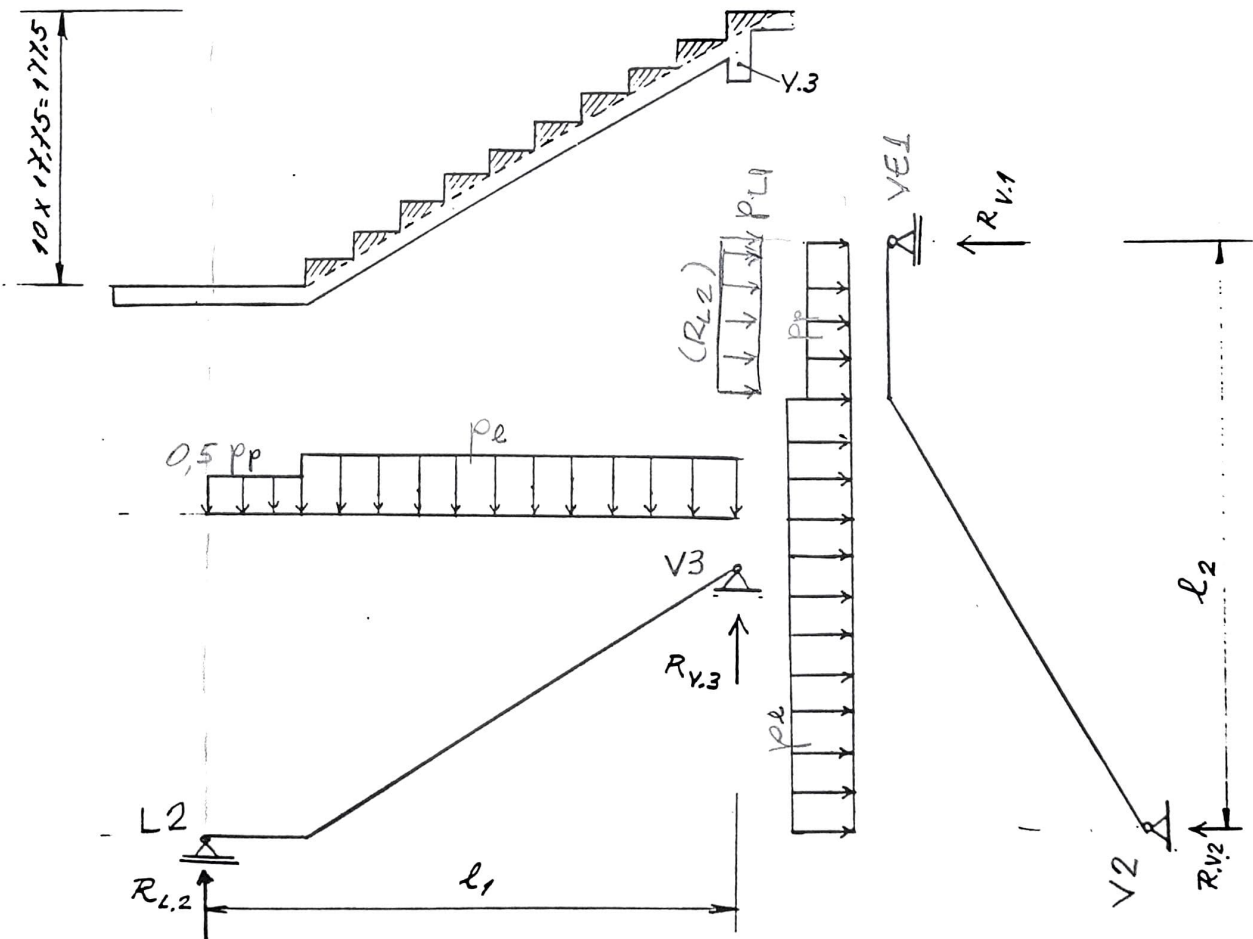
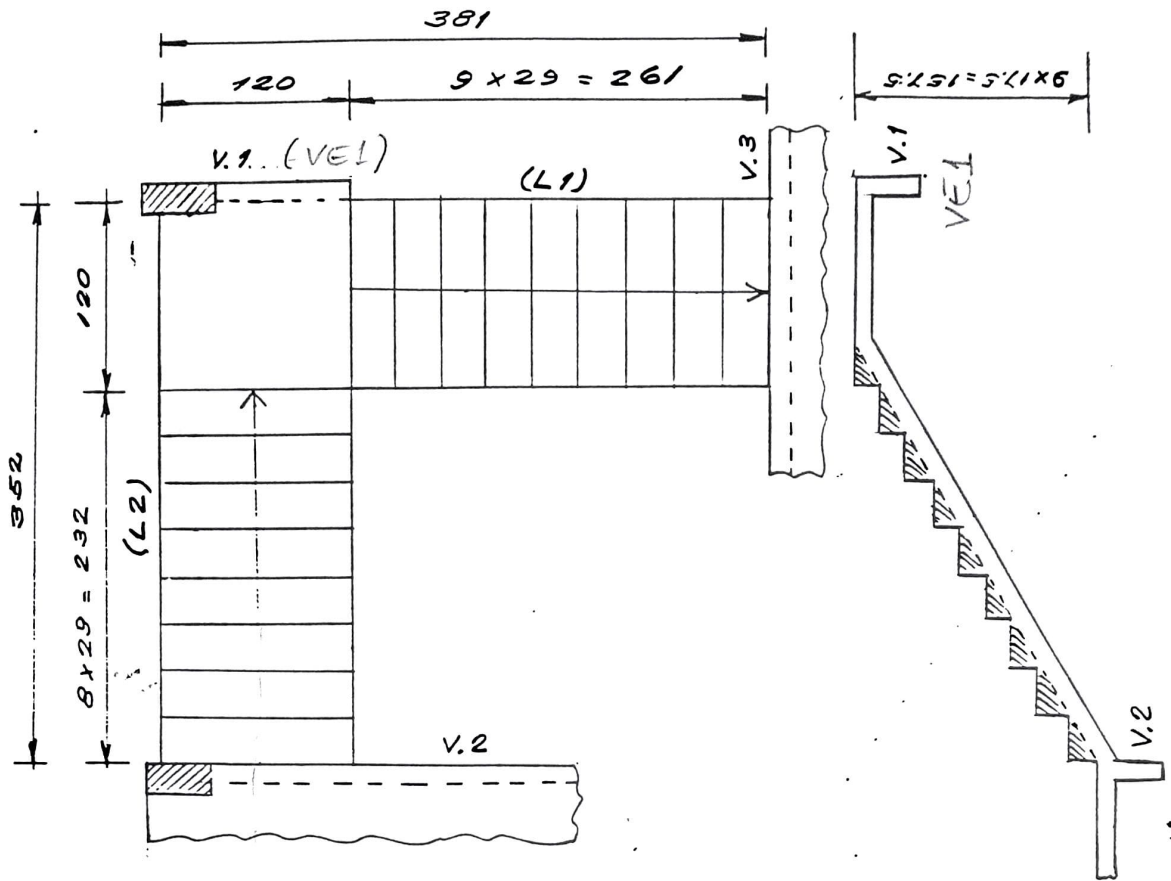
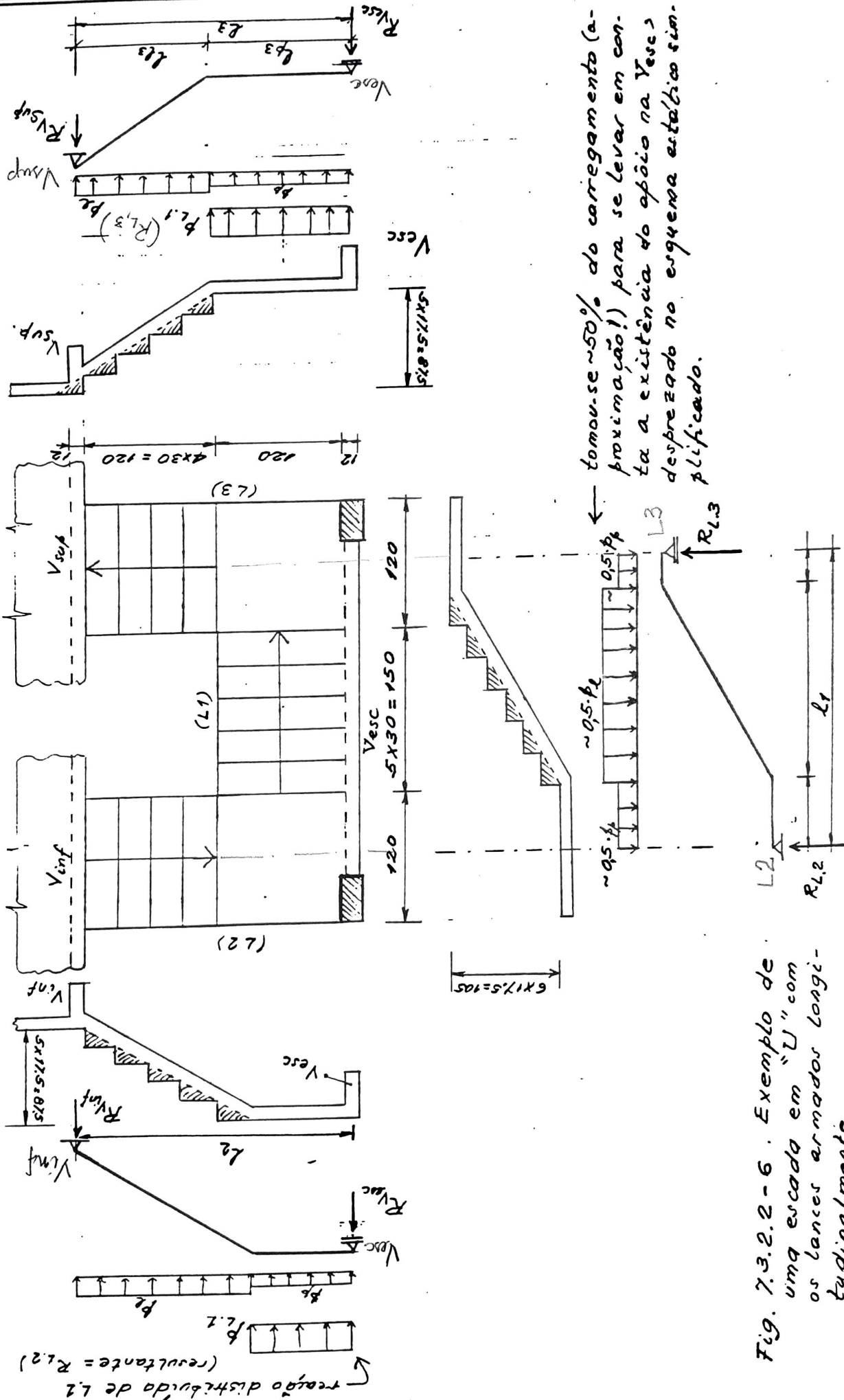


Fig. 7.3.2.2-5 Exemplo de uma escada em "L" com os lances armados longitudinalmente



tomou-se ~50% do carregamento (aproximação!) para se levar em conta a existência do apoio na V_{esc} , desprezado no esquema estático simplificado.

Fig. 7.3.2.2 - 6. Exemplo de uma escada em "U" com os lances armados longitudinalmente.

7.3.2.3. Escada em laje armada trans- versalmente

Geralmente este tipo de escada se apoia em paredes ou em vigas (ver figura 7.3.2.3-1), funcionando estruturalmente em uma direção (menor lado). Se as paredes ou vigas (seus apoios) tiverem grande rigidez a flexão, o engastamento poderá ser considerado no cálculo. (Se for desprezado no cálculo da armadura do vão, deverá ser prevista uma armadura superior no apoio para distribuir e reduzir as aberturas das fissuras que aparecerão).

Para as escadas usuais armadas transversalmente (pequenos vãos: ≈ 1 a $1,5$ m) pode-se desprezar a contribuição dos degraus na resistência à flexão, adotando-se apenas a laje como elemento resistente.

Para as escadas muito largas, convém não desprezar, por razões de economia, a colaboração dos degraus na resistência à flexão, que pode existir de duas formas, confor-

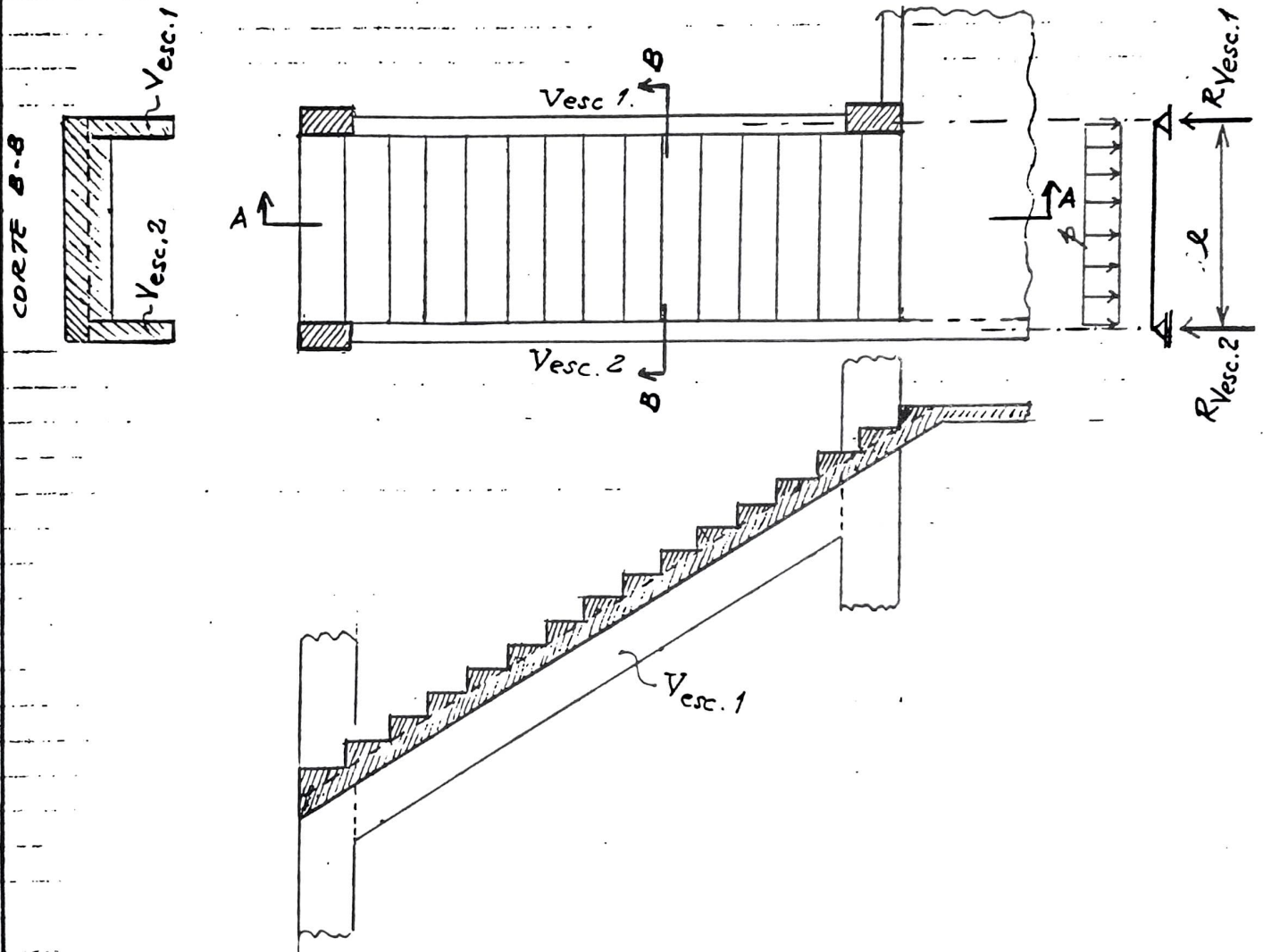
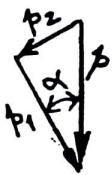


Fig. 7.3.2.3-1. Exemplo de uma escada em laje armada transversalmente.

me o sinal do momento fletor considerado (ver figuras 7.3.2.3-2 e 3).

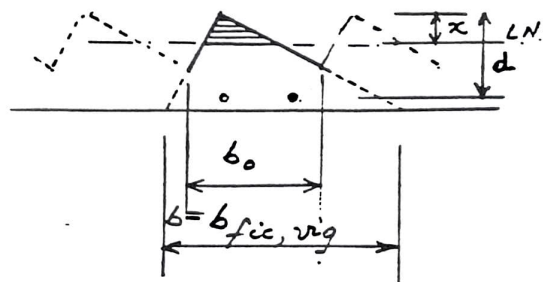
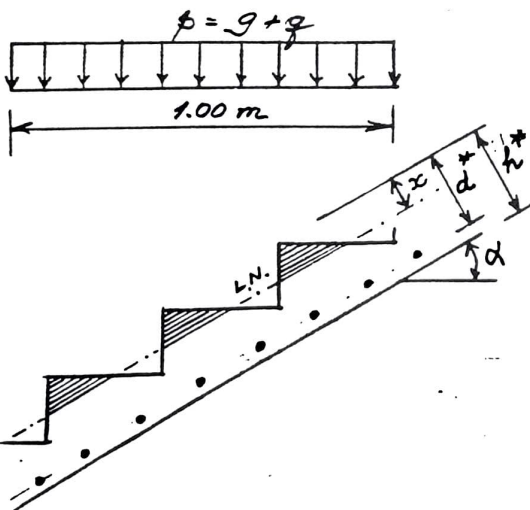
a) momentos positivos (vão)

No caso, a zona comprimida é triangular (degrau) e a armadura de tração, colocada inferiormente, pode ser obtida usando tabelas de flexões de vigas com zona triangular comprida (ver figura 7.3.2.3-2) (*)



$$p_1 = p \cdot \cos \alpha$$

OBS. 1: para os casos usuais, usar p_1 para o cálculo do momento fletor por metro linear na laje (m)



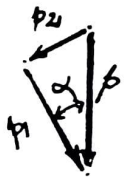
OBS. 2: Para dimensionar a viga de seção triangular fictícia tomar o momento $M = m \cdot b_0$ (b_0 em metros)

Fig. 7.3.2.3-2. Consideração da colaboração do degrau em escadas armadas transversalmente (armadura do vão)

(*) Por exemplo, veja-se Beton Kalender 1980 [1] uma tabela com aplicação direta às escadas armadas transversalmente.

b) momentos negativos (apoios)

Na situação de laje deflamente sustentada ou em balanço, o degrau é traçado e a face inferior da viga é comprimida. A armadura de flexão pode ser obtida como uma laje maciça, desde que a linha neutra não corte os degraus, isto é, corte a laje maciça real inferior, o que é o usual para as dimensões correntes (ver figura 7.3.2.3-3)



$$p_1 = p_2 \cdot \cos \alpha$$

OBS.1. (ver fig. 7.3.2.3-2)

OBS.2 $x \leq d$ (d da laje maciça real)

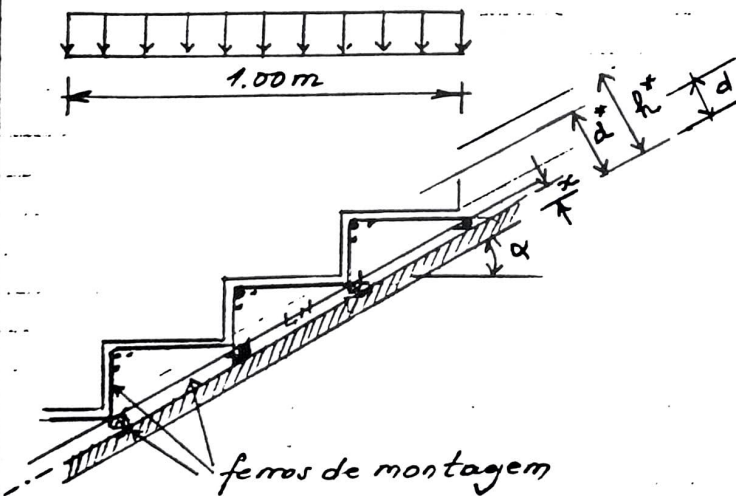


Fig. 7.3.2.3-3. Consideração da colaboração do degrau em escadas armadas transversalmente (armadura no apoio)

7.3.2.4. Escada com laje em balanço, com engastamento em viga reta ou em paredes estruturais.

As escadas em balanço são também armadas transversalmente e são válidas as considerações do item 7.3.2.3. Como todos os degraus estão traionados em toda a extensão da escada, é muito importante a colocação de uma armadura no canto superior do degrau e, portanto, parece muito conveniente a consideração da colaboração do degrau no dimensionamento a flexão, conforme o item 7.3.2.3 b) e figura 7.3.2.3-3.

Se a laje inferior maciça da escada puder resistir sozinha aos esforços, a armadura junto ao canto superior do degrau poderia ser evitada (*) no caso de se fazer uma junta de separação dos degraus com o engastamento, porém a face superior ainda permaneceria traionada, portanto sujeita a trincas, para que possa funcionar a armadura negativa da laje. Então,

(*) Na sua junta ao engastamento.

mesmo assim seria prudente a colocação de alguma armadura nos cantos de cura, evitando trincas visíveis no revestimento da escada.

Então, o que parece melhor é realmente já partir para o dimensionamento considerando a colaboração do degrau, nas faixas da junta do mesmo, ainda que, para as escadas usuais (pequenos balanços), geralmente resulte armadura mínima de flexão.

7.3.2.5. Escada em laje armada em duas direções (em cruz)

Para escadas com vãos grandes ($\sim > 6m$) é melhor, se possível, apoiar a escada em vigas em todo o perímetro. Na Fig. 7.3.2.5-1 tem-se um exemplo de escada armada em cruz onde a largura é da mesma ordem de grandeza do comprimento, e onde se utilizaram quatro vigas para apoio da laje inclinada.

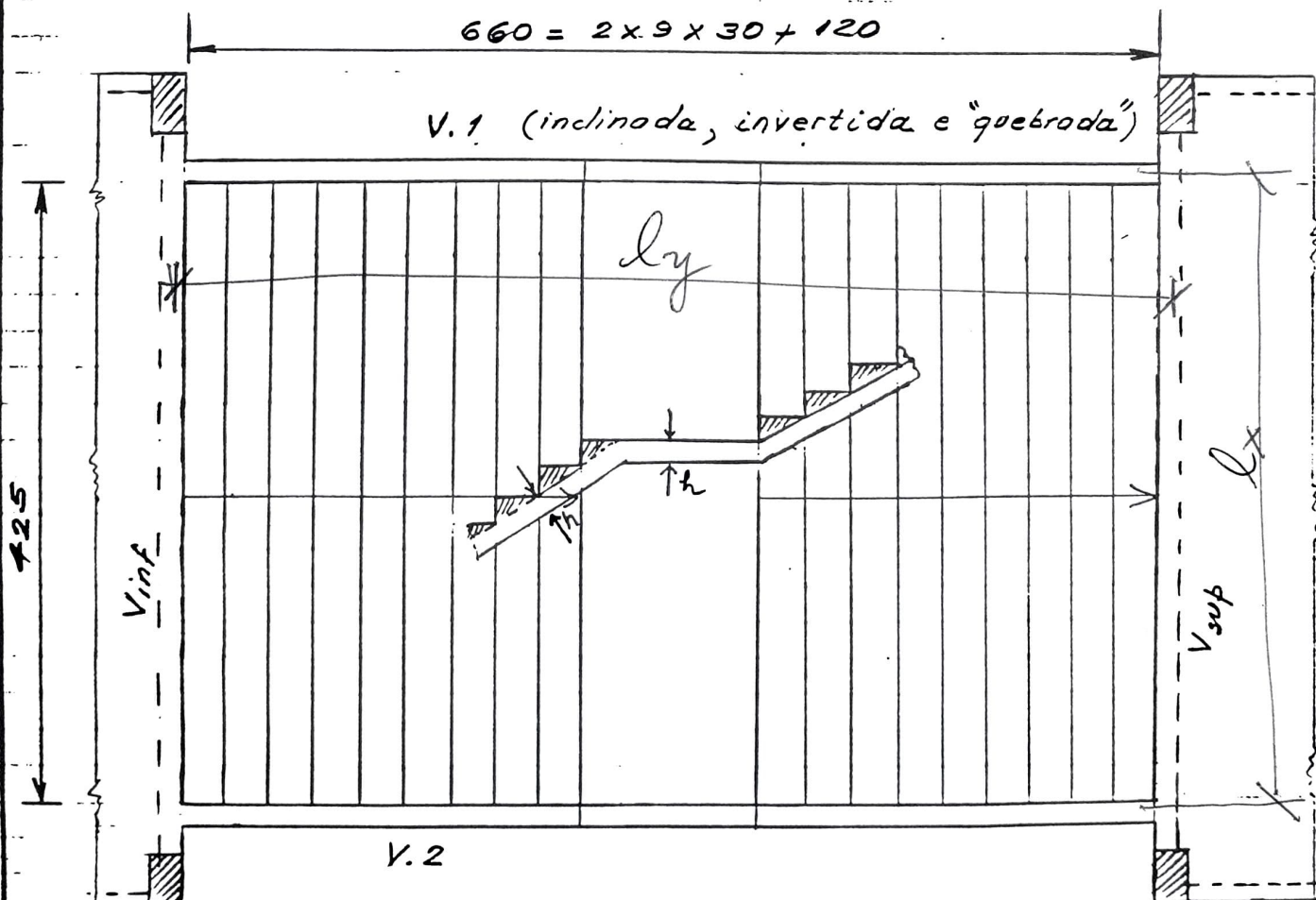


Fig. 7.3.2.5-1. Exemplo de escada em laje armada em cruz com vigas no perímetro (Exemplar)

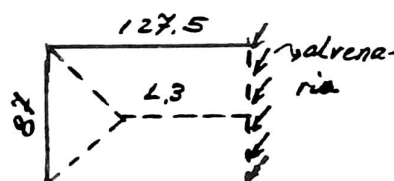
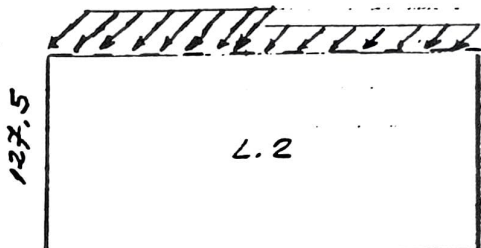
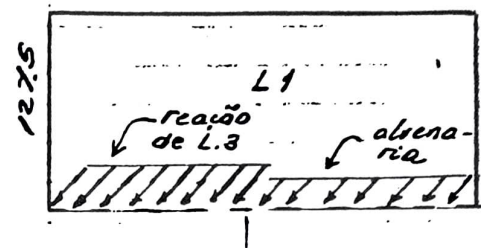
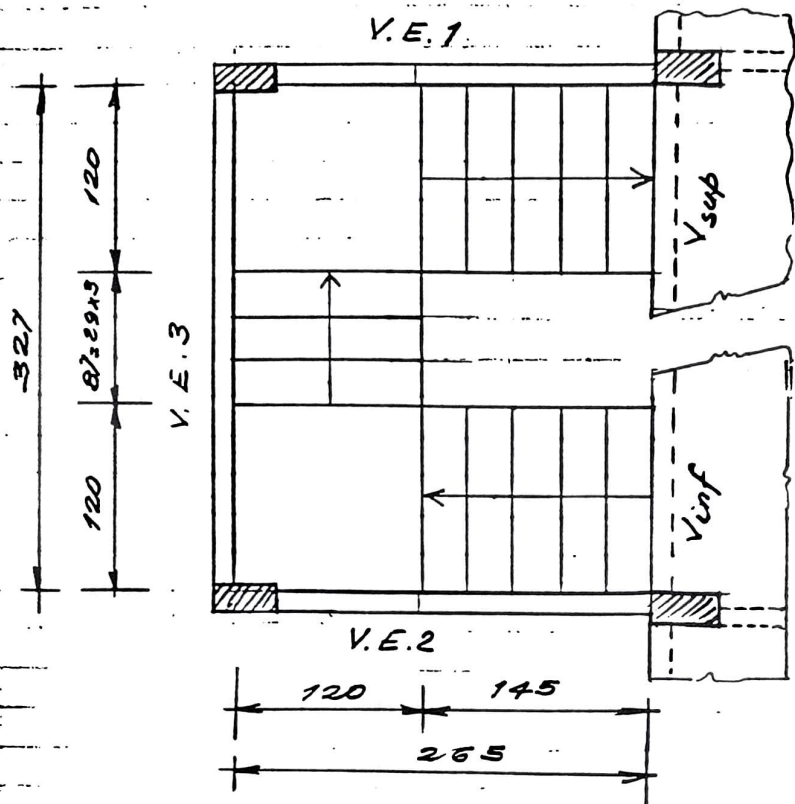
Não se deve esquecer que, devido a presença dos degraus, a laje não é isotrópica. A rigidez a flexão da laje paralelamente aos degraus é bem maior. Além de, em certos casos, poder resultar em grandes alterações de esforços na laje devido à ortotropia, as vigas de apoio, perpendiculares a direção dos degraus, receberão mais carga do que no caso de lajes com espessuras constantes (vigas V.1 e V.2 da figura 7.3.2.5-1).

Qualquer simplificação no dimensionamento, usando-se a altura da laje constante (desprezando-se o degrau), deve ser estudada com cuidado, pois envolve inclusive, conforme mencionado, a distribuição de cargas pelas vigas.

Para o cálculo dos esforços, veja-se por exemplo Barcs [5].

Um outro exemplo usual de escadas em lajes armadas em duas direções é a de escada em forma de "U" com as lajes tendo uma das bordas livres, conforme apresentado na figura 7.3.2.5-2. Os esforços nas lajes podem ser obtidos a partir das tabelas apresentadas no anexo A.7 obtidas da referência [1]

1ª solução simplificada:



2ª solução simplificada (menos econômica que a 1ª)

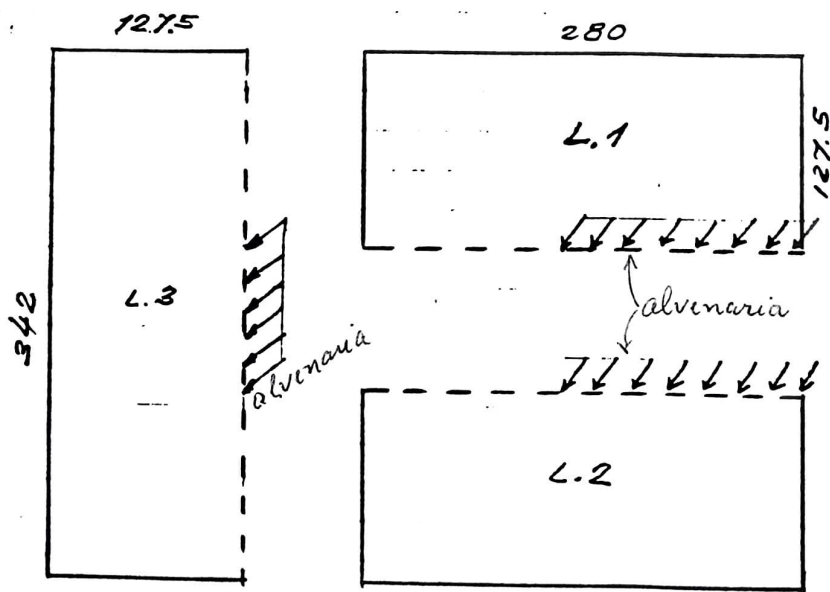


Fig. 7.3.2.5-2. Exemplo de escada em "U" com Lajes armadas em duas direções: todas com três apoios e um bordo livre.

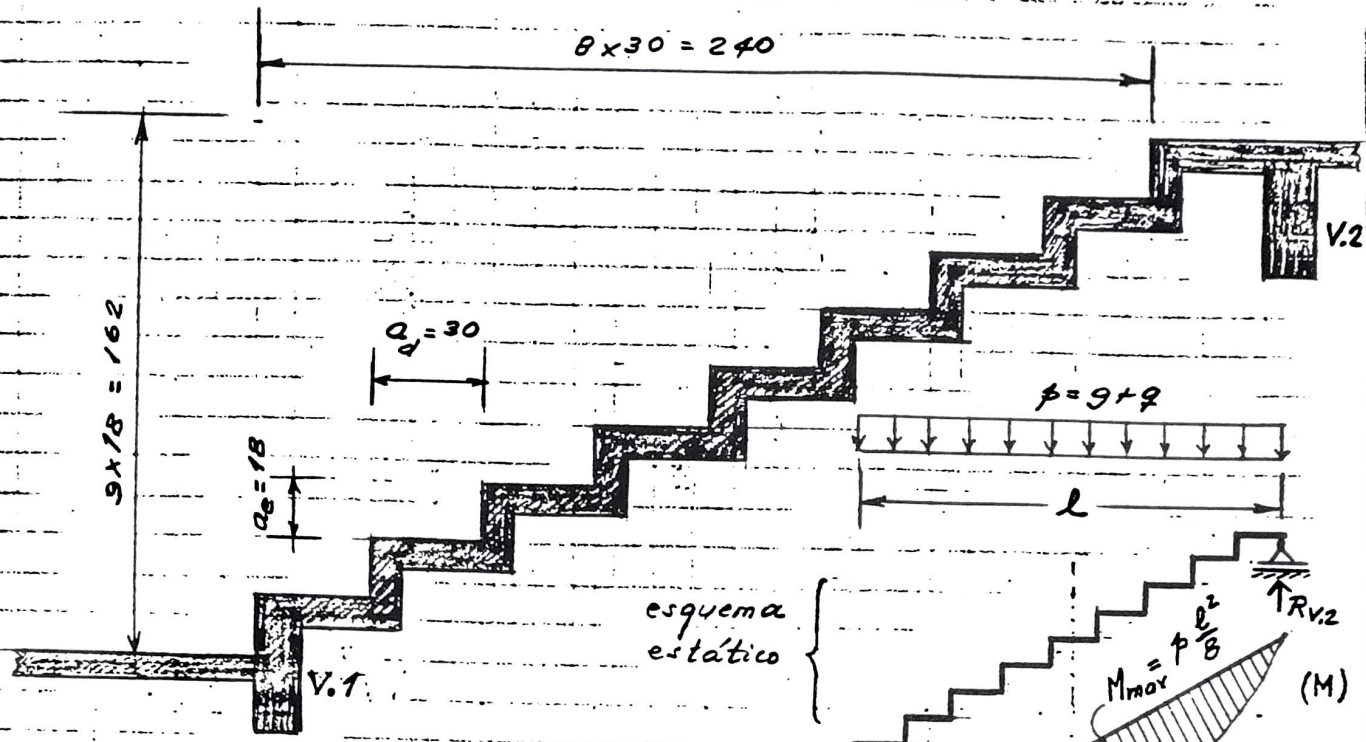
7.3.2.6. Escada com face inferior em degraus (escada "em cascata")

Em vez da face inferior da escada ser constituída de um plano inclinado, a mesma pode-se apresentar sob a forma de degraus.

Se a escada for armada transversalmente, basta dimensionar os elementos verticais como vigas, usando a carga vertical por unidade de área de projeção horizontal e os horizontais como lajes (com armadura construtiva) (procedimento simplificado) (*).

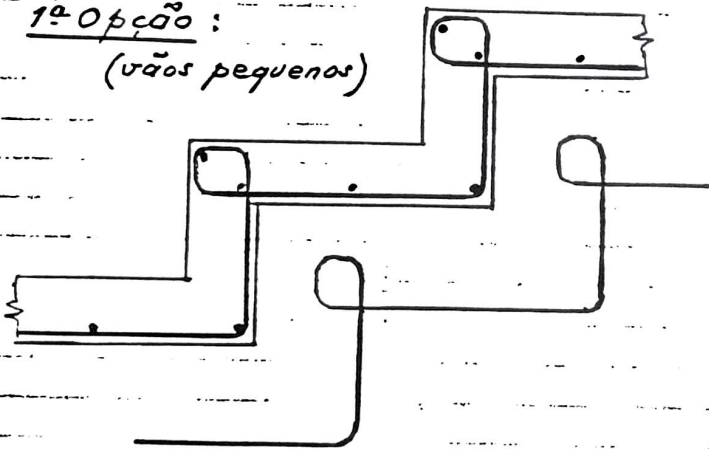
Se a escada for armada longitudinalmente, a mesma deverá ser dimensionada como uma viga de eixo não reto ("quebrado"). Os elementos verticais poderão estar flexo-comprimidos ou flexo-traionados e os horizontais são solicitados a flexão simples e à força cortante, para o caso de estruturas isostáticas com reações verticais (ver exemplo na figura 7.3.2.6)

(*) Um outro modo de dimensionar, mais rigoroso, seria tomar-se a carga projetada normalmente ao plano médio de inclinação da escada, estudando a flexão transversal normal a esse plano (inércia \sim mínima de flexão), necessitando de tabelas especiais de flexão, análogas às mencionadas em 7.3.2.3 a) e b) ou diferentes, conforme a posição da linha neutra

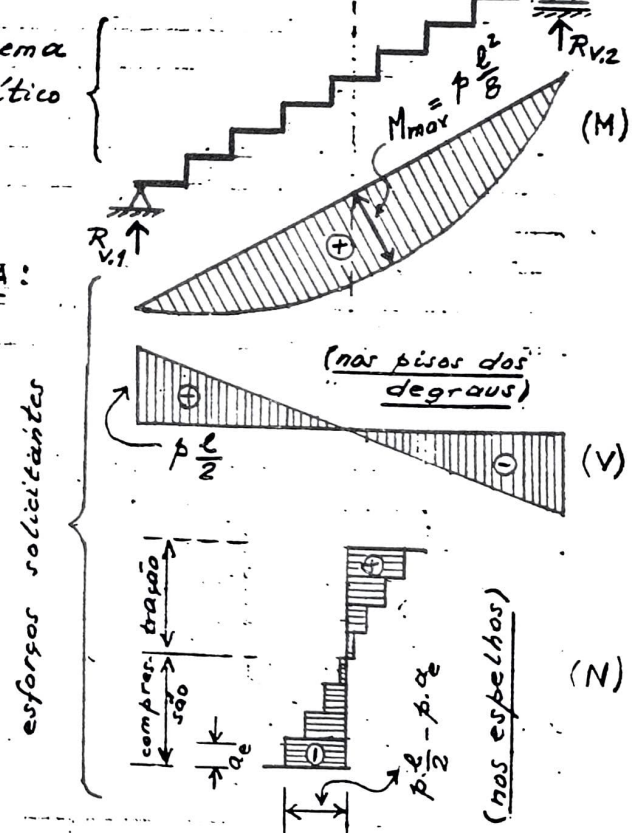
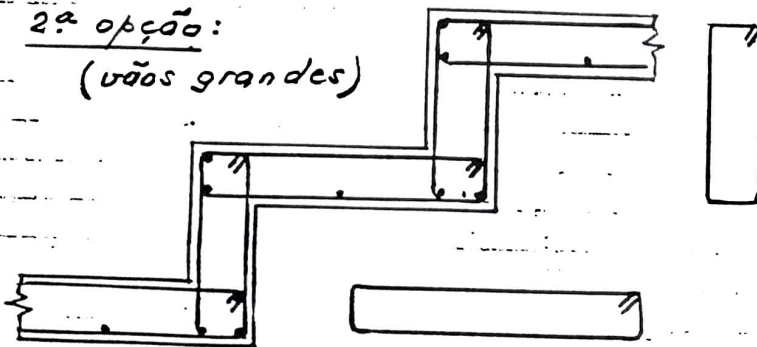


DETALHAMENTO TÍPICO DA ARMADURA:

1ª opção:
 (vãos pequenos)



2ª opção:
 (vãos grandes)



Dimensionamento:

- a) espelhos:
 - flexo-tração ou compressão
- b) pisos dos degraus:
 - flexão - simples
 - força-cortante

Fig. 7.3.2.6-1. Exemplo de uma escada com face inferior em degraus (escada em cascata), sobre dois apoios, armada longitudinalmente.

7.4. Projeto estrutural da escada do Edifício - exemplo

Na Fig. 7.4-1 está representado um esboço inicial de uma das soluções estruturais possíveis. Notar que não foi empregada, nenhuma viga inclinada ("quebrada"), o que simplifica o projeto e a construção. Entretanto isso foi possível, sem criar uma viga de altura muito exagerada (V.E.1), devido o primeiro lance da escada (trecho inclinado) conter apenas três espelhos.

Como exercício, este projeto será, inicialmente completado, detalhado e entregue pelos participantes do curso. A nossa solução será fornecida posteriormente.

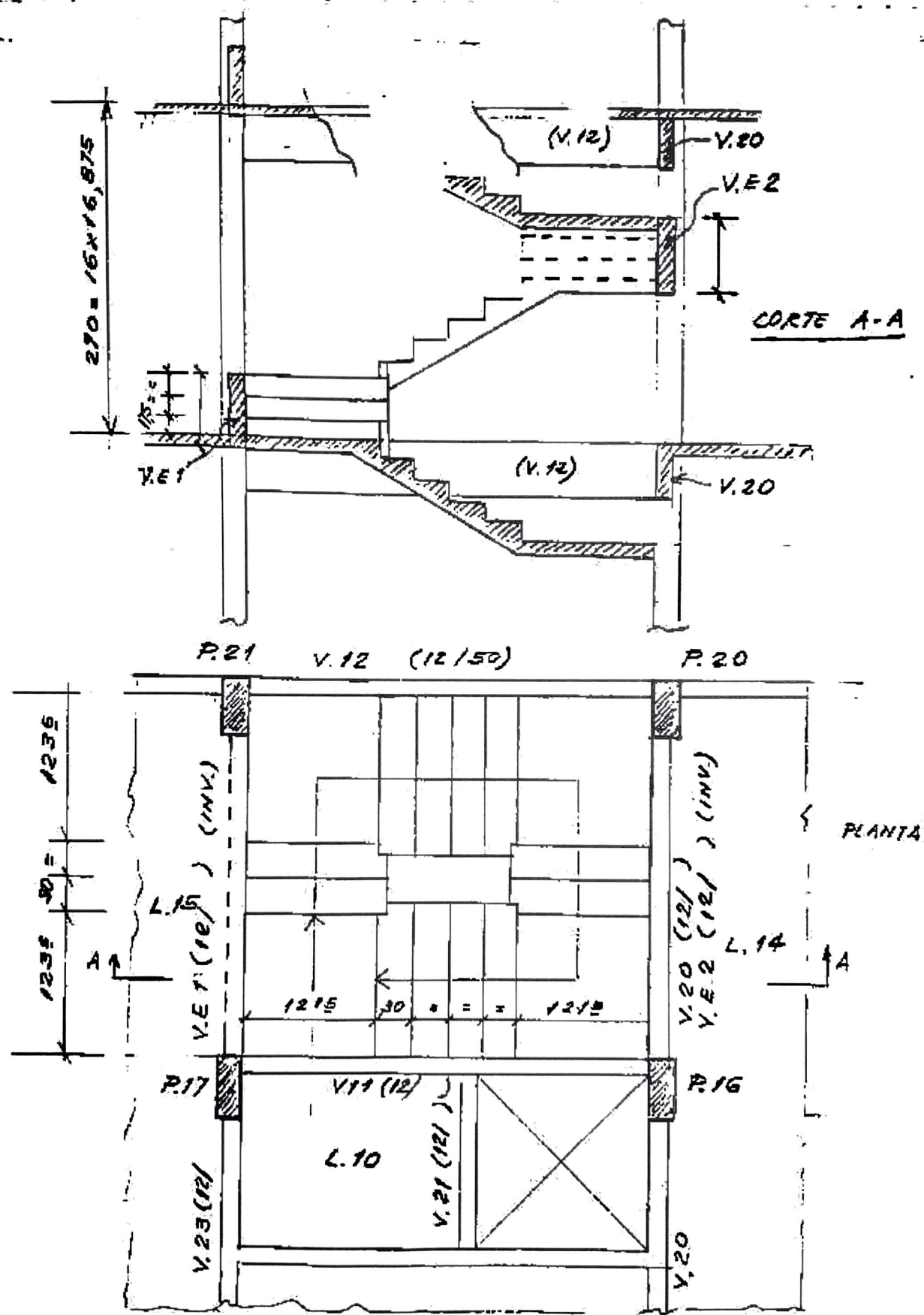


Fig. 7.4-1. Esboço inicial de uma das soluções estruturais possíveis para a escada do edifício. Exemplo 1

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] KÖSE OĞLU, S. Treppen. Beton Kalender. Berlin, Verlag Von Wilhelm Ernest & Sohn, 1980, Teil II, S. 901-1034
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NB-5. Cargas para o cálculo de estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro, 1978.
- [3] LEONHARDT, F. Construções de concreto; verificação da capacidade de utilização. Rio de Janeiro, Interviência, 1979, v. 4
- [4] GERTSENCHTEIN, Maurício. Notas de aula do curso Concreto II (graduação), Escola Politécnica (USP), 1970.
- [5] BARES, RICHARD. Tables for the Analysis of Plates, Slabs and Diaphragms based on the Elastic Theory, 3ª Ed., Bauverlag GmbH., Wiesbaden und Berlin, 1979

ANEXO A.7

TABELAS

TAB. T.7.1 Tabela com coeficientes para cálculo dos momentos fletores e rotações em lajes com dois apoios opostos e os demais livres (usual em escadas)

Momentos totais: Fonte: Beton Kolender, 1980, V.II (Treppen)

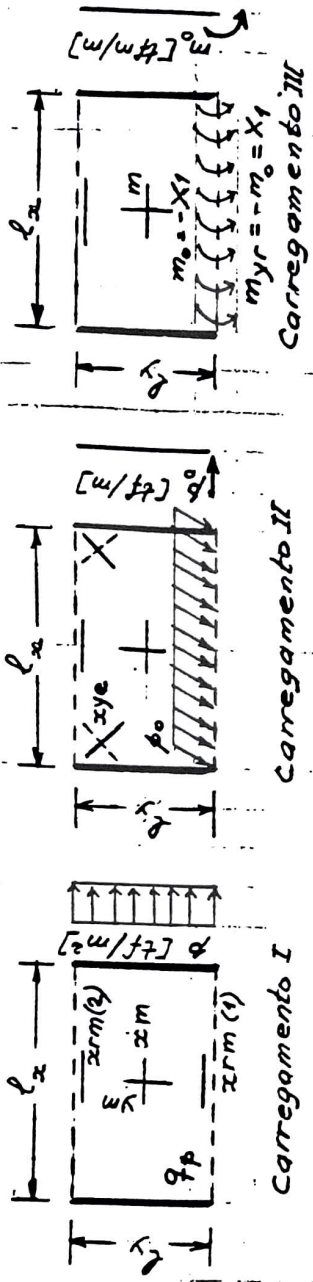
na direção x: $m_{xi} = m_{iI} + m_{iII} + m_{iIII}$

demais momentos: $m_i = m_{iII} + m_{iIII}$

OBS.: para o carregamento I:

$m_{xi} = m_{xim} = m_{xm} = p \cdot l_x^2 / 8$

$m_{ymI} = 0 \quad \theta_{yri} = 0$



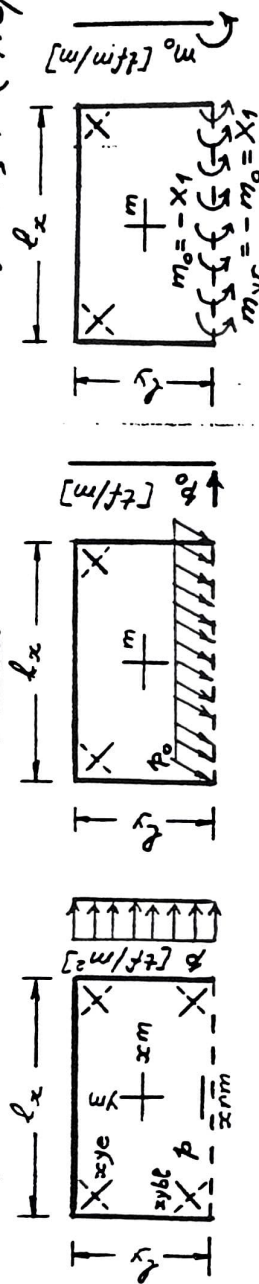
Carrega-mento	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
II	$m_{xri} =$	2,19	2,75	3,17	3,45	3,65	3,81	3,96
	$m_{xim} =$	2,39	3,23	4,05	4,88	5,81	6,81	7,91
	$m_{ym} = -$	38,50	31,3	27,8	26,4	25,7	26,4	27,10
	$m_{xri2} =$	2,63	3,79	5,18	6,85	9,00	12,10	15,60
	$m_{xy} = \pm$	10,00	9,60	9,20	8,87	8,60	8,42	8,30
III	$K \cdot \theta_{yr} = - p_0 \cdot l_y^2 :$	2,64	4,51	6,76	9,40	12,50	16,00	20,00
	$m_{xri} =$	3,85	3,65	3,49	3,34	3,24	3,16	3,10
	$m_{xim} = -$	200,00	66,70	38,50	26,40	21,30	18,60	16,90
	$m_{ym} = -$	2,08	2,29	2,58	3,00	3,57	4,37	5,35
	$m_{xri2} = -$	4,18	4,55	5,08	5,96	7,15	8,55	10,40
$K \cdot \theta_{yr} = - m_0 \cdot l_y :$	1,01	1,48	1,93	2,36	2,78	3,19	3,61	4,02

TAB. 7.2. Tabela com coeficientes para cálculo dos momentos fletores, rotações e flechas em lajes sobre 3 apoios em lado com borda livre (usual em escadas)
Fonte: Beton Kalender, 1980, V.II ("Treppen")

momento total: $m_i = m_{i,I} + m_{i,II} + m_{i,III}$

rotação total: $\theta_i = \theta_{i,I} + \theta_{i,II} + \theta_{i,III}$

flecha total: $w_i = w_{i,I} + w_{i,II} + w_{i,III}$



Carregamento III

Carregamento II

Carregamento I

Carrega-mento	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
I	$\frac{l_y}{l_x} =$							
	$m_{xr} =$	4,12	4,41	4,89	5,53	6,34	7,32	8,46
	$m_{xm} =$	7,88	8,04	8,46	9,11	9,97	11,00	12,20
	$m_{ym} =$	8,92	10,50	13,00	16,50	21,20	27,50	35,70
	$m_{xye} =$	2,74	3,84	5,10	6,58	8,31	10,30	12,60
II	$K \cdot \theta_{yr} = - p \cdot l_y^3 :$	3,70	8,00	15,80	30,00	53,50	95,20	161,00
	$K \cdot w_r = p \cdot l_y^4 :$	3,21	6,34	11,50	19,20	30,30	45,20	65,20
	$m_{xr} =$	6,90	5,60	4,90	4,50	4,30	4,20	4,10
	$m_{xm} =$	12,60	10,50	9,60	9,20	9,40	9,60	10,20
	$m_{ym} =$	20,00	9,100	52,50	40,10	33,20	29,40	26,90
III	$K \cdot \theta_{yr} = - p_0 \cdot l_y^3 :$	1,62	3,08	5,11	7,76	11,00	14,70	18,90
	$K \cdot w_r = p_0 \cdot l_y^4 :$	1,86	3,42	5,55	8,68	12,80	18,70	26,70
	$m_{xr} =$	3,20	2,35	2,50	2,65	2,74	2,80	2,85
	$m_{xm} =$	4,60	5,70	7,90	12,50	35,00	100,00	∞
	$m_{ym} =$	2,10	2,20	2,50	3,10	4,00	5,10	6,50
$K \cdot \theta_{yr} = - m_0 \cdot l_y :$	1,06	1,56	2,03	2,46	3,86	5,26	8,66	
$K \cdot w_r = m_0 \cdot l_y^2 :$	1,66	3,13	5,13	7,69	10,90	14,60	18,90	