FERMIX

PROJETO ESTRUTURAL DE ADUELA DE SEÇÃO TRANSVERSAL ABERTA DE CONCRETO ARMADO

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

2 CÁLCULO DAS PRESSÕES PRODUZIDAS PELO SOLO E PELA ÁGUA

2.1 Pressões com terrapleno horizontal

2.2 Pressões com terrapleno inclinado

3 CÁLCULO DAS PRESSÕES PRODUZIDAS POR SOBRECARGAS NA SUPERFICÍE

3.1 Força uniformemente distribuída aplicada na superfície

3.2 Força concentrada aplicada na superfície

3.3 Força parcialmente distribuída aplicada na superfície

3.4 Sobrecargas rodoviárias

4 MODELAGEM E CONSIDERAÇÕES DE CÁLCULO

4.1 Esquema estático

4.2 Coeficiente de reação do solo

4.3 Considerações da não-linearidade física

5 SITUAÇÕES DE PROJETO E COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO DAS AÇÕES

5.1 Estados limites últimos

5.2 Estados limites de serviço

5.3 Situações transitórias (manuseio)

6 DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA

6.1 Concreto

6.2 Armadura em telas soldadas

6.3 Cobrimento da armadura

6.4 Diretrizes para o dimensionamento

6.5 Arranjo da armadura

6.6 Cálculo da armadura para as solicitações normais

6.7 Verificação da resistência à força cortante

6.8 Verificação do limite de fissuração inaceitável

6.9 Verificação da situação de manuseio

7 EXEMPLOS COMENTADOS DE CÁLCULO

7.1 Exemplo 1

7.2 Exemplo 2

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXO - Tabela de telas soldadas para armação de aduelas

PRINCIPAIS SÍMBOLOS E SIGLAS

Esta relação é limitada aos símbolos mais importantes, normalmente aqueles que aparecem mais de uma vez.

Letras minúsculas

a Dimensão de área carregada na superfície

b Dimensão de área carregada na superfície, largura de seção transversal

b_{ext} Largura total da aduela (medida externa)

b_l Largura interna da aduela (largura livre)

c Cobrimento da armadura

d Altura útil da seção (distância do CG da armadura de tração até a borda mais comprimida)

d' Distância do CG da armadura até a borda próxima

f_{ck} Resistência característica do concreto à compressão

f_{cd} Resistência de cálculo do concreto à compressão

f_{ctd} Resistência de cálculo do concreto ao cisalhamento

f_{tk} Resistência característica do concreto à tração

f_{yd} Resistência de cálculo do aço à tração

h Altura da seção transversal

h_b Espessura da laje de fundo

h_{ext} Altura total da aduela (medida externa)

h_l Altura livre da aduela

h_p Espessura da parede lateral

i Ângulo de inclinação do terreno adjacente

k Coeficiente de empuxo do solo, coeficiente para cálculo de força cortante

k_a Coeficiente de empuxo ativo do solo

k_o Coeficiente de empuxo em repouso do solo

k_r Módulo de reação do solo

ℓ_c Comprimento da aduela (direção longitudinal do canal)

m Dimensão das mísulas, valor adimensional (x/h_{ext})

n Valor adimensional (y/h_{ext})

n_x Relação entre Q/Q_i na direção de x

n_y Relação entre Q/Q_i na direção de y

p_{ha} Pressão lateral de água de dentro para fora da aduela

p_{hq} Pressão lateral produzida por sobrecarga na superfície

$p(y)$ Pressão ao longo de y

q Força distribuída de sobrecarga de tráfego

q' Força distribuída de sobrecarga de tráfego no passeio

q_{sup} Força uniformemente distribuída aplicada na superfície

y Ordenada

x Abscissa

w Abertura de fissuras

Letras maiúsculas

As Área da seção transversal da armadura

$A_{s,min}$ Área mínima de armadura

E_{cs} Módulo de elasticidade secante do concreto

E_{ci} Módulo de elasticidade do concreto

E_s Módulo de elasticidade do aço

M Momento fletor

N Força normal

Q Força concentrada ou resultante de força parcialmente distribuída aplicada na superfície, peso de veículo-tipo

Q_i Força concentrada

V Força cortante

Letras gregas

γ_{solo} Peso específico do solo

γ_a Peso específico da água

γ_f Coeficiente de ponderação das ações

ϕ Coeficiente de impacto

η_i Coeficiente de conformação superficial

ρ Taxa geométrica de armadura

σ Tensão normal

σ_s Tensão na armadura

ϕ Ângulo de atrito interno do solo, diâmetro de barra

ψ_1 Coeficiente de combinação freqüente

Siglas

CG Centro de gravidade

EI Rigidez do elemento

IBTS Instituto brasileiro de tela soldada

NBR Norma brasileira registrada

especificações dos aços para concreto armado, conforme as normas vigentes sobre o assunto.

01 INTRODUÇÃO

As aduelas de seção transversal aberta de concreto armado são elementos prémoldados em forma de U, com ou sem mísulas internas nos cantos. Estes elementos, colocados justapostos, são utilizados na canalização de córregos ou na drenagem de águas pluviais.

Na Figura 1.1 estão apresentadas as principais características geométricas das aduelas de seção transversal retangular, com a nomenclatura empregada. Nesta figura estão definidas as seguintes partes: laje de fundo (ou base), paredes laterais e mísulas.

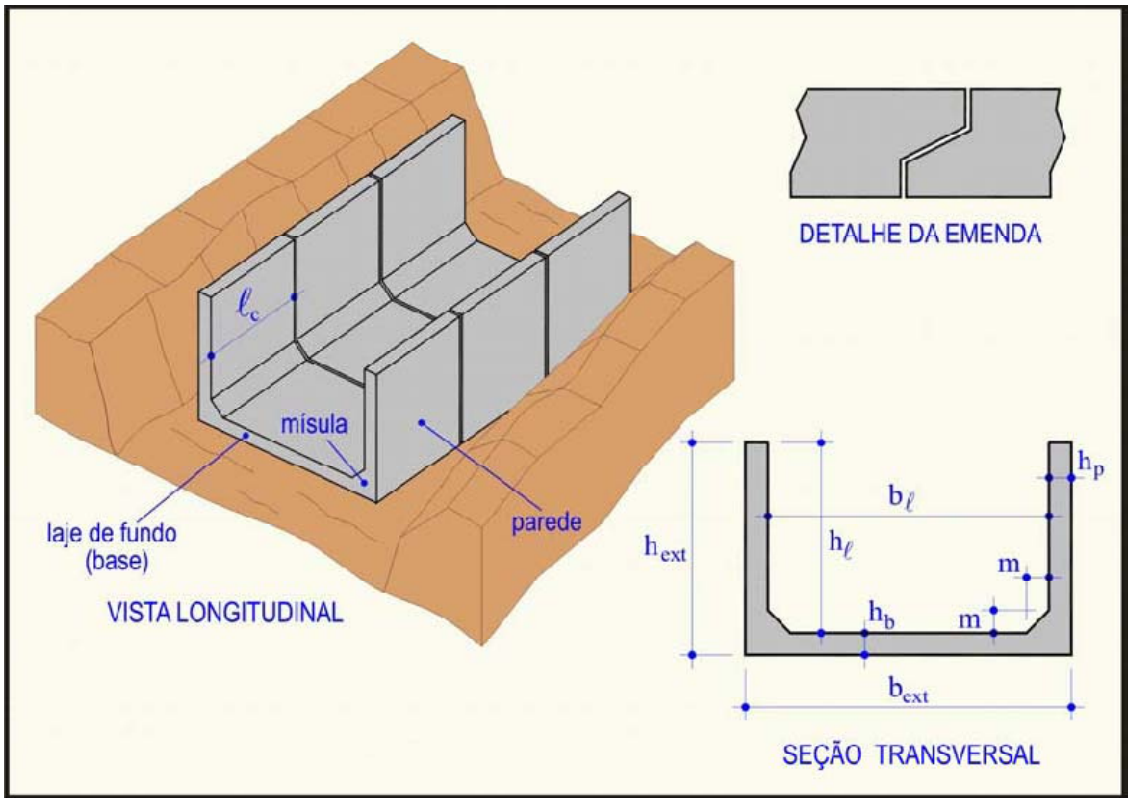


Figura 1.1 Características geométricas das aduelas de seção aberta de concreto armado

Conforme previsto no projeto de norma 18:600.06-002:2005 *Aduelas (galerias celulares) de concreto armado pré-fabricadas – Requisitos e métodos de ensaios* [5], as aduelas de seção aberta de concreto armado podem apresentar dimensões variando de 1,0m x 1,0m até aberturas de 4,0m x 4,0m.

As ações que podem atuar nas aduelas de seção aberta são: a) peso próprio; b) empuxos laterais produzidos pelo solo; c) pressões de água de dentro para fora e de fora para dentro do canal; d) empuxos laterais produzidos por sobrecargas na superfície; e) empuxos laterais produzidos por equipamento de compactação durante a execução do aterro; e f) ações produzidas durante o manuseio, o transporte e a montagem da aduela.

02 CÁLCULO DAS PRESSÕES PRODUZIDAS PELO SOLO E PELA ÁGUA

2.1 Pressões com terrapleno horizontal

As pressões laterais produzidas pelo solo sobre as paredes da aduela são calculadas em função da profundidade (y), conforme a figura 2.1, com a expressão:

$$p(y) = \gamma_{solo}\, yk \qquad (2.1)$$

Onde:

- γ_{solo} – peso específico do solo
- k – coeficiente de empuxo do solo

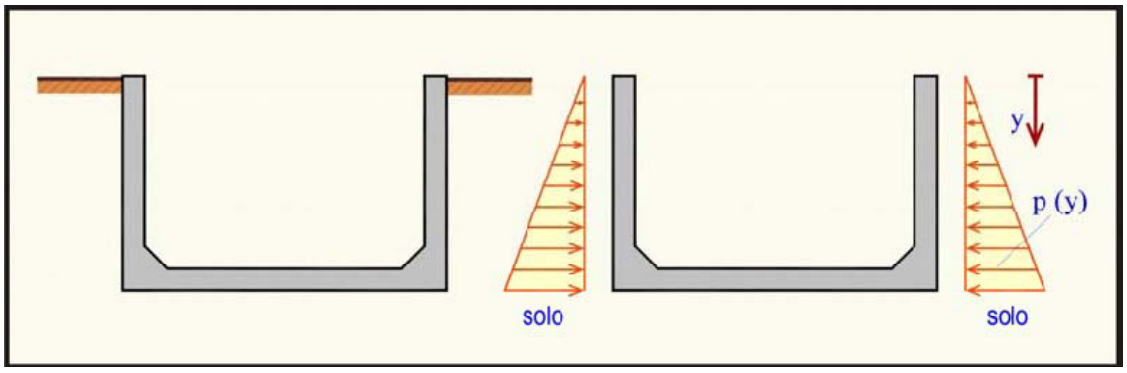


Figura 2.1 Pressões laterais do solo na parede do canal

Os valores do peso específico do solo e do coeficiente de empuxo do solo podem ser adotados com base na NBR 7187:2003 Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido [2], que estabelece *"..O empuxo de terra nas estruturas é determinado de acordo com os princípios da mecânica dos solos, em função de sua*

natureza (ativo, passivo ou de repouso), das características do terreno, assim como das indicações dos taludes e dos paramentos. Como simplificação, pode ser suposto que o solo não tenha coesão e que não haja atrito entre o terreno e a estrutura, desde que as solicitações assim determinadas estejam a favor da segurança. O peso específico do solo úmido deve ser considerado no mínimo igual a 18 kN/m3 e o ângulo de atrito interno no máximo igual a 30º. Os empuxos ativos e de repouso devem ser considerados nas situações mais desfavoráveis....."

Para solos não coesivos, os coeficientes de empuxo são calculados em função do ângulo de atrito interno. Os coeficientes de empuxo ativo (k_a) e de empuxo em repouso (k_o) podem ser determinados com as seguintes expressões:

$$k_a = tg^2(45 - \phi/2) \qquad (2.2)$$

e

$$k_o = 1 - sen\ \phi \qquad (2.3)$$

Onde ϕ é o ângulo de atrito interno do solo.

Considerando solo sem coesão e ângulo de atrito interno de 30°, têm-se os seguintes valores para os coeficientes de empuxo: $k_a = 0,33$ e $k_o = 0,5$.

Na consideração das pressões de água nas paredes do canal podem-se fazer as seguintes hipóteses: a) existe sistema de drenagem eficiente junto às paredes externas do canal, e neste caso, não se considera pressão de água de fora para dentro, e b) não existe esse sistema de drenagem e, neste caso, dever-se-á considerar a pressão do solo submerso.

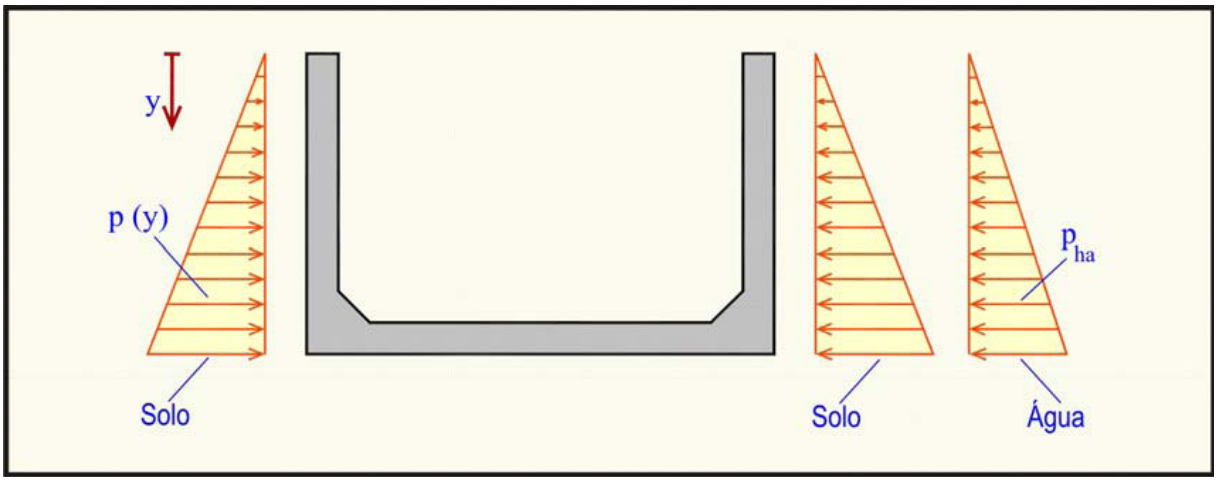
É mais comum fazer o projeto de canais, assim como de muros de arrimo, considerando a primeira hipótese. Naturalmente, neste caso deve ser feito o sistema de drenagem junto às paredes externas do canal. Caso contrário, deve-se considerar a segunda hipótese, que é bem mais desfavorável em relação aos esforços no canal.

Na Figura 2.2 estão mostradas as pressões horizontais do empuxo do solo e do empuxo da água para as hipóteses comentadas anteriormente.

A pressão de água de dentro para fora do canal pode ser calculada com a expressão:

$$p_{ha} = \gamma_a y \qquad (2.4)$$

Sendo γ_a o peso específico da água (10 kN/m^3).



a) situação com sistema de drenagem b) situação sem sistema de drenagem

Figura 2.2 Pressão lateral do solo e da água

2.2 Pressões com terrapleno inclinado

Quando o terrapleno for inclinado, como mostra a Figura 2.3, as pressões laterais produzidas pelo solo sobre as paredes da aduela são obtidas também pela expressão (2.1), porém por conta da inclinação do terreno, o coeficiente de empuxo do solo leva em consideração o ângulo de inclinação do terreno adjacente [11], vale:

$$k = \frac{cos^2(\emptyset)\cos(i)}{\sqrt{\cos(i)} \pm \sqrt{sen(\emptyset - i)sen(\emptyset)^2}} \qquad (2.5)$$

Onde:

- ϕ – ângulo de atrito interno do solo
- i – ângulo de inclinação do terreno adjacente

Para a consideração da pressão de água, valem as mesmas hipóteses do caso de terrapleno horizontal.

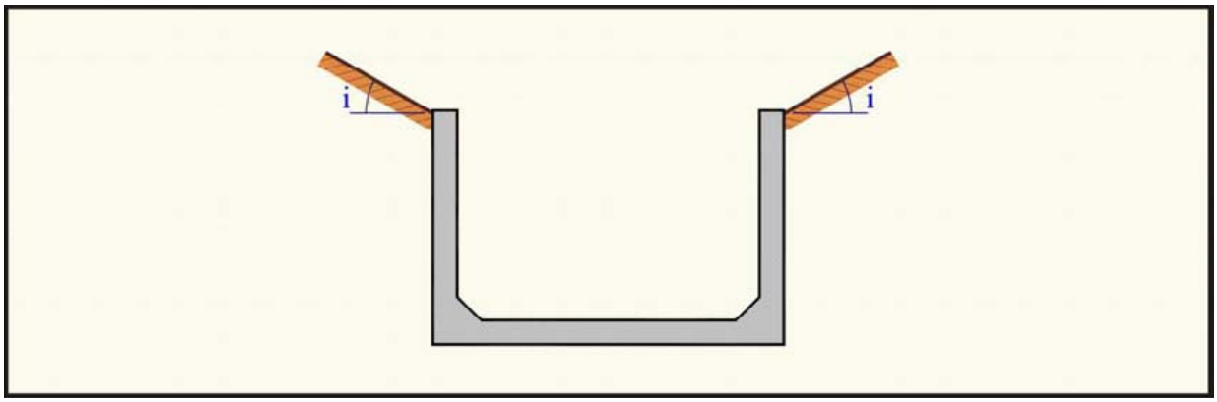


Figura 2.3 Canal em terrapleno inclinado

03 CÁLCULO DAS PRESSÕES PRODUZIDAS POR SOBRECARGAS NA SUPERFÍCIE

3.1 Força uniformemente distribuída aplicada na superfície

Quando a sobrecarga puder ser considerada uniformemente distribuída na superfície, como mostrado na Figura 3.1, as pressões nas paredes laterais podem ser calculadas com:

$$p_{hq} = kq_{sup} \qquad (3.1)$$

Sendo k o coeficiente de empuxo.

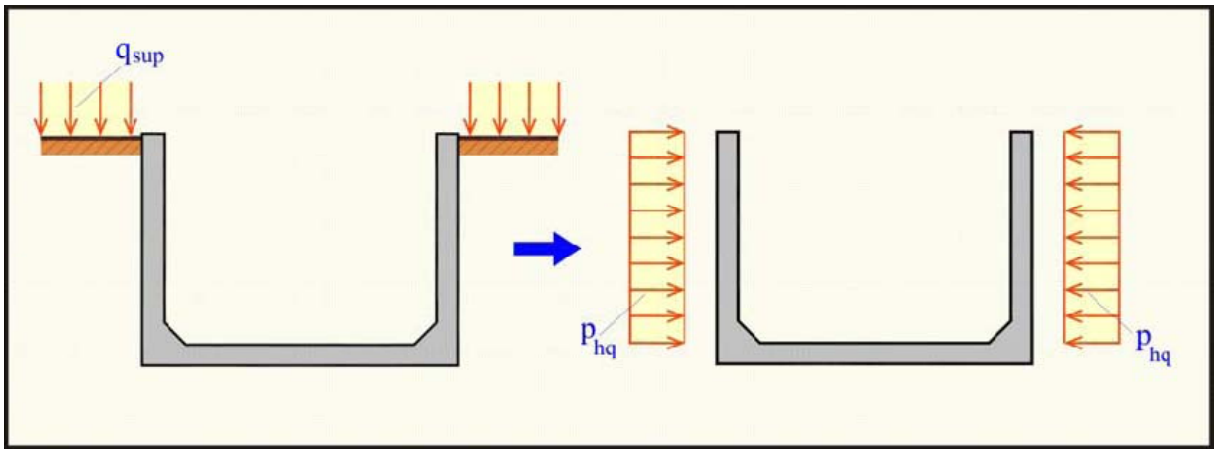


Figura 3.1 Pressões produzidas por sobrecarga uniformemente distribuída na superfície

3.2 Força concentrada aplicada na superfície

O efeito de forças parcialmente distribuídas na superfície, como rodas de veículos, pode ser calculado a partir da integração do efeito de uma força concentrada na superfície.

As pressões laterais produzidas por força concentrada na superfície são mostradas na Figura 3.2. Tais pressões podem ser calculadas com as seguintes equações fornecidas por BOLWES [6]. Definindo:

$$m = \frac{x}{h_{ext}} \text{ e } \frac{y}{h_{ext}}$$

tem-se:

- Para m > 0,4:

$$p(y) = \frac{1{,}77Q}{h_{ext}^2} + \frac{m^2 n^2}{(m^2 + n^2)^3}$$

(3.2)

- Para m ≤ 0,4:

$$p(y) = \frac{0{,}28Q}{h_{ext}^2} \frac{n^2}{(0{,}16 + n^2)^3}$$

(3.3)

- Para qualquer *m*, vale a expressão:

$$p(y, z) = p(y) \cos^2(1{,}1\,\alpha) \qquad (3.4)$$

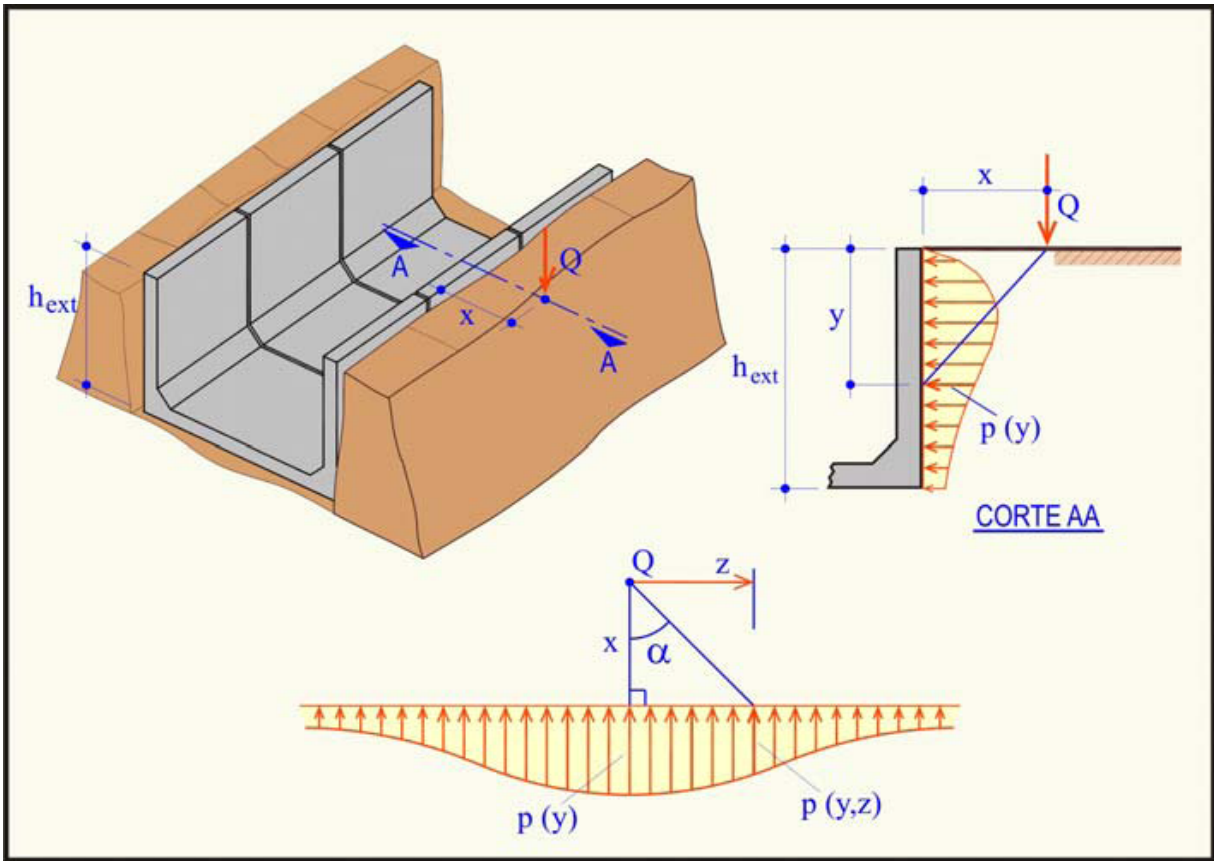


Figura 3.2 Pressões laterais produzidas por força concentrada aplicada na superfície

3.3 Força parcialmente distribuída aplicada na superfície

No caso de força parcialmente distribuída Q com área de contacto *a x b*, a força pode ser aproximada por n_x *x* n_y forças concentradas de intensidade $Q_i = Q/(n_x\ n_y)$. Com a formulação apresentada (seção 3.2), o efeito da força Q pode ser calculado pelo somatório dos efeitos de *Qi*, como mostra a Figura 3.3.

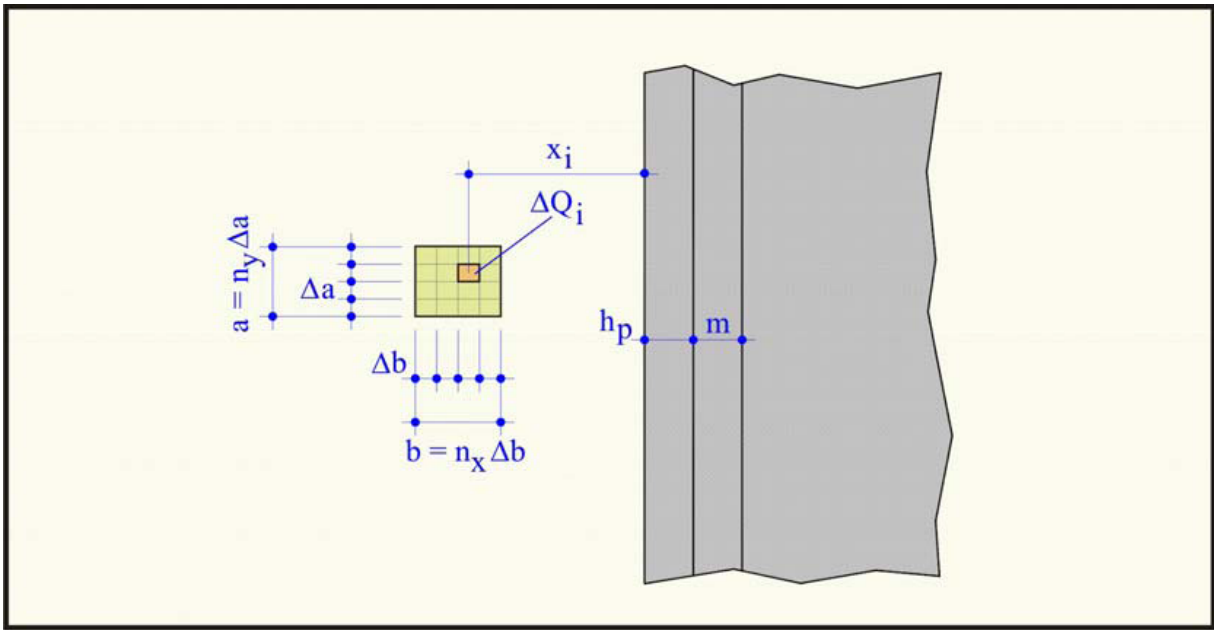


Figura 3.3 Aproximação de força parcialmente distribuída por somatório de forças concentradas

3.4 Sobrecargas rodoviárias

Para as sobrecargas provenientes do tráfego rodoviário podem-se adotar as mesmas forças empregadas nos projetos das pontes.

No Brasil, as cargas para o projeto de pontes são regulamentas pela NBR-7188 [3], que divide as pontes rodoviárias em três classes, discriminadas a seguir:

a) Classe 45: na qual a base do sistema é um veículo-tipo de 450 kN de peso total;
b) Classe 30: na qual a base do sistema é um veículo tipo de 300 kN de peso total;
c) Classe 12: na qual a base do sistema é um veículo tipo de 120 kN de peso total.

As pontes Classe 12 correspondem a situações com passagem restrita de veículos leves. Normalmente, este caso é reservado apenas para situações particulares. Assim, normalmente, são empregadas as Classes 45 e 30.

Na Tabela 3.1 apresenta-se o peso do veículo e os valores das forças distribuídas q e q' para pontes de Classes 45 e 30. A força distribuída q leva em consideração a ação de outros veículos mais afastados das zonas onde as forças produzem maiores esforços solicitantes. Já a força q' corresponde a sobrecargas nos passeios.

Tabela 3.1 Pesos dos veículos-tipo e valores das forças distribuídas

Classe da Ponte	Veículo-Tipo Peso Total (kN)	Forças Uniformemente Distribuídas	
		q (em toda a pista) kN/m^2	q´ (em toda a pista) kN/m^2
45	450	5	3
30	300	5	3

Considerando apenas o veículo-tipo, tem-se para as Classes 45 e 30 um conjunto de três eixos com duas rodas cada, o que resulta em seis rodas com o mesmo peso. Na Tabela 3.2 e na Figura 3.4 são fornecidas as características dos veículos-tipo (rodas e eixos) classe 45 e 30.

Tabela 3.2 Características dos veículos-tipo rodoviários

Item	Unidades	Tipo 45	Tipo 30
Quantidade de eixos	Eixo	3	3
Peso total do veículo	kN	450	300
Peso de cada roda	kN	75	50
Área de contato da roda (1)	m^2	0,20 x 0,50	0,20 x 0,40
Distância entre eixos	m	1,50	1,50
Distâncias entre centros das rodas de cada eixo	m	2,00	2,00

(1) A dimensão 0,20m da área de contacto é paralela à direção do tráfego do veículo

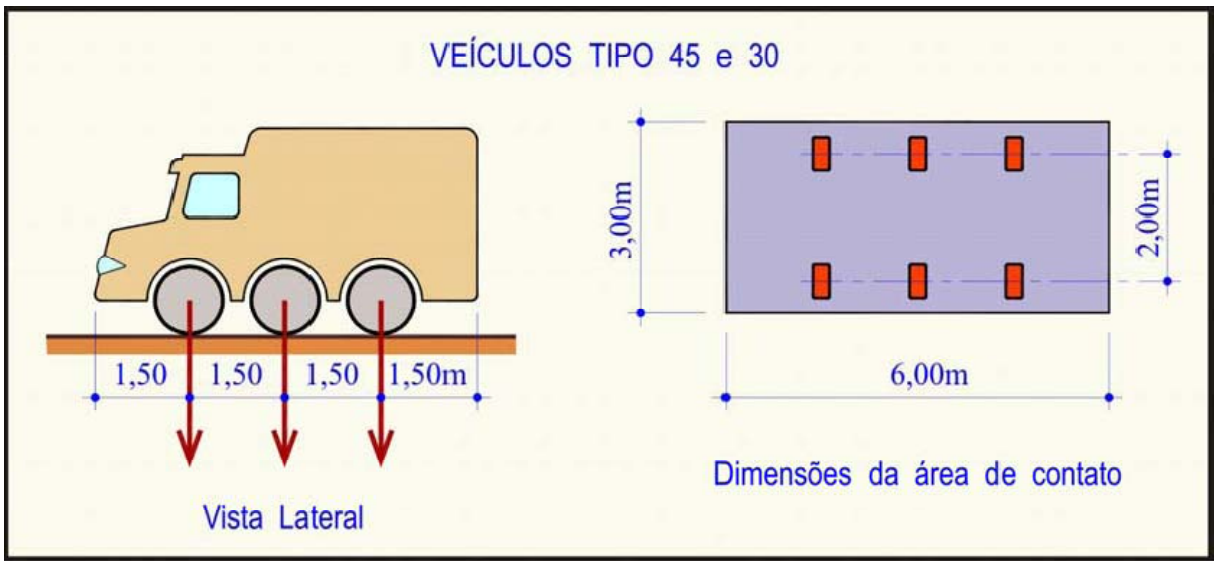


Figura 3.4 Características dos veículos-tipo

Assim como em outras estruturas, é necessário levar em consideração que os veículos atuam de forma dinâmica. Na falta de análise mais rigorosa, este efeito é levando em conta multiplicando as cargas por um coeficiente de impacto. Na falta de informações específicas, pode-se utilizar os valores da Tabela 3.3, que é uma adaptação dos valores para tubos enterrados.

Tabela 3.3 Coeficientes de impacto para tráfego rodoviário

Distância da roda à parede do canal (m)	φ
≤ 0,30	1,3
≤ 0,60	1,2
≤ 0,90	1,1
> 0,90	1,0

04 MODELAGEM E CONSIDERAÇÕES DE CÁLCULO

4.1 Esquema estático

O modelo para o cálculo da aduela corresponde a um pórtico plano com *n* elementos finitos. A reação do solo na base da aduela é modelada considerando apoio elástico, mediante elementos simuladores, que correspondem a molas fictícias, conforme mostrado na Figura 4.1.

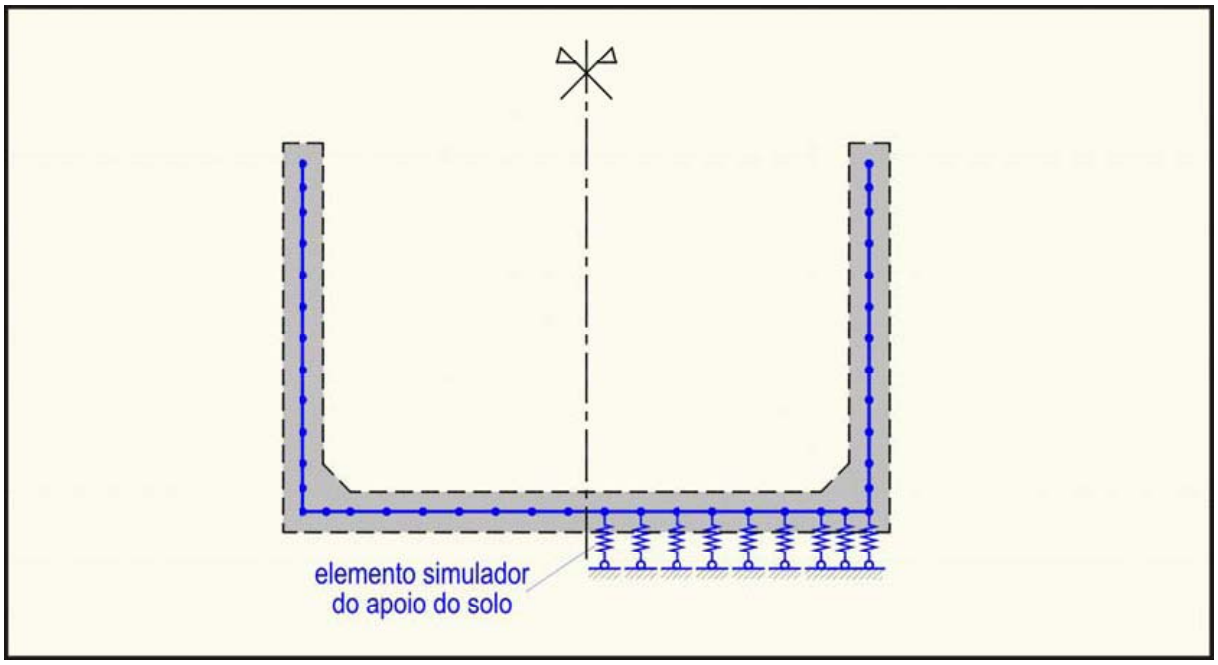


Figura 4.1 Modelagem da estrutura

Na modelagem da estrutura como pórtico plano, as coordenadas dos nós são geradas automaticamente no programa, em função do número de divisões fornecido.

4.2 Coeficiente de reação do solo

Na consideração da interação solo-estrutura, a rigidez do elemento simulador do solo, o que corresponde ao coeficiente da mola, é calculada em função do módulo de reação do solo (k_r).

O valor do módulo de reação do solo deve ser avaliado por especialista. Na falta de indicações mais precisas, pode-se recorrer aos valores sugeridos na tabela apresentada em publicação do IBTS *Piso industriais de concreto armado* [12], transcrita na Tabela 4.1. Naturalmente, pode-se também recorrer a outras recomendações encontradas na literatura técnica, como por exemplo na referência [13].

O valor da rigidez do elemento simulador do solo é calculado multiplicando o módulo de reação do solo pelo comprimento de influência de cada nó.

O cálculo da estrutura deve ser iterativo, pois, se houver tração nas molas, o cálculo deve ser refeito retirando aquelas que estiverem tracionadas, uma vez que o solo não poderá comportar-se como tal.

Tabela 4.1 Valores de módulo de reação do solo [12]

Tipo de Solo	Resistência do Solo	CBR (%)	k_r (MPa/m)
Siltes e argilas de alta compressibilidade e densidade natural	Baixa	< 2	15
Siltes e argilas de alta compressibilidade, compactados. Siltes e argilas de baixa compressibilidade, siltes e argilas arenosos, siltes e argilas pedregulhosos e areias de graduação pobre.	Média	3	25
Solos granulares, areias bem graduadas e misturas de areia–pedregulho relativamente livres de plásticos finos.	Alta	10	35

O módulo de elasticidade do concreto, para o cálculo estático da aduela, pode ser calculado em função da resistência a compressão do concreto. Pode-se empregar a expressão da NBR-6118:2003 [1], apresentada a seguir:

$$E_{cs} = 0{,}85\ E_{ci} \qquad (4.1)$$

Sendo:

$E_{ci} = 5600\ \sqrt{f_{ck}}$ (em MPa) (4.2)

4.3 Consideração da não-linearidade física

As estruturas de concreto deixam de apresentar comportamento linear em função da fissuração do concreto tracionado, em níveis baixos de solicitação, e plastificação do concreto ou armadura, em níveis mais altos de solicitação. Uma forma simplificada

de considerar a não-linearidade dos elementos é reduzindo a rigidez das barras, assim que elas atingirem um determinado nível de solicitações. Esta redução de rigidez pode ser colocada na forma de uma fração β da rigidez normal.

$$(EI)_{red} = \beta\,(EI) \qquad (4.3)$$

O valor sugerido para β é 0,5. Cabe observar que quanto menor o valor de β, maior será a redistribuição dos esforços. Para não considerar este efeito, basta empregar o valor de β igual 1.

Considera-se que as barras estão fissuradas e, portanto, com inércia reduzida, quando a tensão normal calculada no Estádio I, para a flexo-compressão, for maior que 1,5 vezes a resistência média de tração, conforme a expressão:

$$\sigma = \frac{M}{bh^2/6} - \frac{N}{bh} \geq 1{,}5 f_{tk} \qquad (4.4)$$

Onde *M* e *N* são momento fletor e força normal na seção considerada, respectivamente; b e h são as dimensões da seção transversal da barra.

A resistência à tração do concreto f_{tk} pode ser estimada com a resistência à compressão f_{ck} , com a expressão da NBR-6118:2003 [1]:

$$f_{tk} = 0{,}3 f_{ck}^{\frac{2}{3}} \text{ (em MPa)} \qquad (4.5)$$

05 SITUAÇÕES DE PROJETO E COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO DAS AÇÕES

5.1 Estados limites últimos

Para as verificações dos estados limites últimos por momento fletor e por força cortante, consideram-se os coeficientes de ponderação para combinação normal estabelecidos na NBR-8681:2003 [4], apresentados na Tabela 5.1:

Tabela 5.1 Valores de γ_f para as ações consideradas

Ação	Efeito Desfavorável	Efeito Favorável
Peso próprio	1,30	1,00
Ação do solo	1,35	1,00
Ação de carga móvel	1,50	--
Ação da água	1,20	--

Com relação aos valores da Tabela 5.1, vale a pena destacar que a água está sendo considerada como uma ação truncada, uma vez que o nível de água acima da altura da galeria, faz com que este tipo de ação de um lado apenas, deixe de ter sentido.

Para a determinação das situações críticas, são feitas as análises para as seguintes combinações:

a) Carregamento simétrico com pressão lateral máxima de fora para dentro, considerando as pressões laterais do solo, de sobrecargas, quando for o caso, e, se não existir sistema de drenagem, o efeito de água no solo (Figura 5.1); o coeficiente de empuxo é o ativo.
b) Carregamento simétrico com pressão lateral máxima de dentro para fora, considerando as pressões de água de dentro para fora e das pressões laterais do solo (Figura 5.2); o coeficiente de empuxo é o em repouso.

Com estas duas combinações podem-se determinar os máximos e mínimos esforços solicitantes na estrutura.

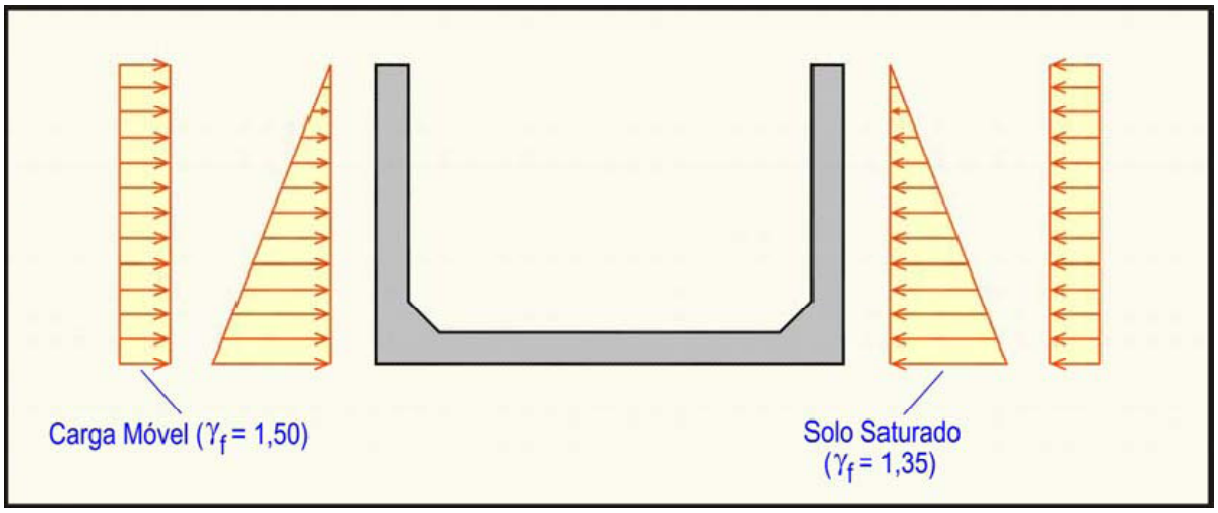


Figura 5.1 Carregamento simétrico com pressão lateral máxima de fora para dentro

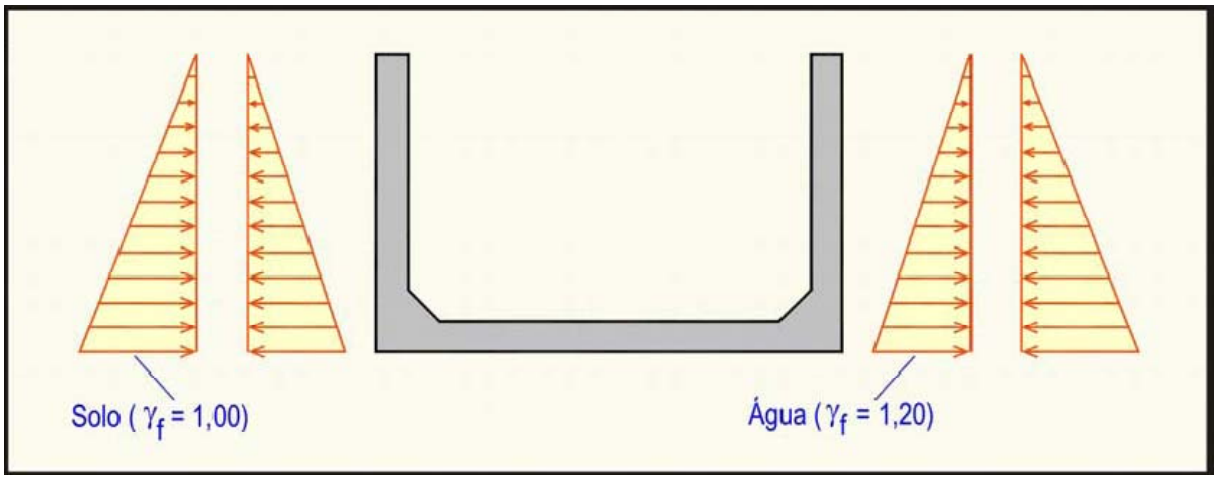


Figura 5.2 Carregamento simétrico com pressão lateral máxima de dentro para fora

5.2 Estados limites de serviço

Dentre os estados limites de serviço de estruturas de concreto armado, apenas o estado limite de fissuração inaceitável tem significado no projeto de aduelas de seção aberta de concreto armado.

A verificação do estado limite de fissuração inaceitável é feita com a combinação freqüente das ações. Na combinação freqüente de ações, a ação variável principal é

a carga móvel, que é multiplicada por coeficiente ψ_1. A ação máxima da água ocorre raramente e o seu efeito pode ser desprezado nesta verificação. O peso do próprio e o solo são afetados de $\gamma_f = 1$.

Esta verificação deve ser feita após o cálculo da armadura e a escolha do diâmetro das barras.

5.3 Situações transitórias (manuseio)

As situações transitórias correspondem àquelas as quais os elementos pré-moldados estão sujeitos após o endurecimento do concreto até a colocação no local definitivo.

Por se tratar de uma situação transitória de construção, podem-se empregar os valores do coeficiente de ponderação indicados pela NBR 8681:2003 [4], de 1,20 para efeito desfavorável e de 1,0 para efeito favorável. Assim, para o manuseio das aduelas de seção aberta, consideram-se estes coeficientes de ponderação afetando o peso próprio.

06 DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA

6.1 Concreto

O concreto deve ser dosado para ter características compatíveis com o processo de execução da aduela e deve ser objeto de controle de qualidade adequado à produção de componentes pré-fabricados. Um dos aspectos que deve ser considerado na dosagem do concreto é a durabilidade, em função das condições do uso do elemento.

O concreto das aduelas deve atender as especificações do projeto de norma 18:600-6-002:2005 [5] que estabelece a relação água/cimento não superior a 0,50 e o consumo mínimo de cimento de 250 kg por metro cúbico de concreto.

6.2 Armadura em telas soldadas

A utilização de tela soldada apresenta uma série de vantagens para a armação de aduelas de concreto. Entre outras, estas vantagens são:

a) Redução do tempo da mão-de-obra com o corte, dobramento e colocação e amarração da armadura, em relação ao processo convencional;
b) Redução do consumo de aço, da ordem de 20%; devido à diferença da resistência de escoamento do aço da tela soldada com o aço da armadura CA-50, normalmente empregado nos outros casos;
c) Melhores condições de posicionamento na colocação da armação e de manutenção deste posicionamento durante o processo de moldagem;
d) Boas condições de aderência devido à armadura transversal soldada, tanto com fios lisos como com fios corrugados, o que possibilita melhores condições de atendimento ao estado limite de fissuração inaceitável;
e) Melhor acabamento devido aos diâmetros relativamente finos dos fios empregados, de forma que as aduelas armadas com telas soldadas proporcionam paredes mais lisas.

Naturalmente, os aços para a armação das aduelas devem atender às especificações dos aços para concreto armado, conforme as normas vigentes sobre o assunto.

6.3 Cobrimento da armadura

Uma das principais finalidades do cobrimento da armadura nas peças de concreto é a proteção química, que está relacionada com a proteção da armadura contra corrosão, e conseqüentemente, com a durabilidade da peça.

Os fatores de maior influência na proteção da armadura contra a corrosão, tendo em vista o ataque de agentes agressivos externos, são o valor do cobrimento e a qualidade do concreto. Esta qualidade está relacionada, entre outros fatores, com a quantidade de cimento, a relação água/cimento e o adensamento do concreto.

Conforme o projeto de norma 18:600-06-002:2005 [5], o cobrimento mínimo da armadura da aduela deve ser de 30mm. No entanto, em se tratando de aplicações em ambientes com agressividade forte ou muito forte, o cobrimento deve atender aos valores prescritos na NBR 6118:2003 [1].

6.4 Diretrizes para o dimensionamento

O dimensionamento estrutural da aduela consiste basicamente em calcular a armadura para atender aos estados limites.

Normalmente, as armaduras são calculadas para o estado limite último por solicitações normais (momento fletor e força normal). Ainda com relação ao estado limite último, deve ser feita a verificação da resistência à força cortante. É necessária ainda a verificação do estado limite de fissuração inaceitável.

De acordo com a NBR 6118:2003 [1], o dimensionamento e as verificações devem ser feitos minorando as resistências dos materiais. Os coeficientes de minoração são especificados as seguir:

- Coeficiente de minoração da resistência do concreto – 1,4 em geral
- Coeficiente de minoração da resistência do aço – 1,15 em geral.

Se for empregado um controle rigoroso no processo de produção da aduela, o coeficiente de minoração da resistência do concreto pode ser reduzido para 1,3.

O cálculo da armadura é feito nas seguintes posições: a) canto inferior e b) meio da laje de fundo. Na Figura 6.1a estão representadas estas posições.

A altura útil da armadura nas paredes laterais e na laje de fundo pode ser estimada em função do cobrimento. O valor recomendado para esta estimativa é espessura destes elementos menos 35mm (d'=35mm).

Nos cantos das aduelas, a altura útil da armadura sofre uma significativa mudança, conforme está mostrado na Figura 6.1b. Desta forma, na quina da aduela são

analisadas três seções: seção *pp*, seção *cc* e seção *bb*. Nas seções *pp* e *bb*, as alturas úteis da armadura coincidem com as alturas úteis da laje de fundo e da parede lateral, estimadas com *d'=35mm*. Na seção *cc*, a altura útil pode ser estimada com a altura total considerando a mísula e d_q*'=70mm*. A armadura nos cantos é a maior das obtidas da análise das três seções.

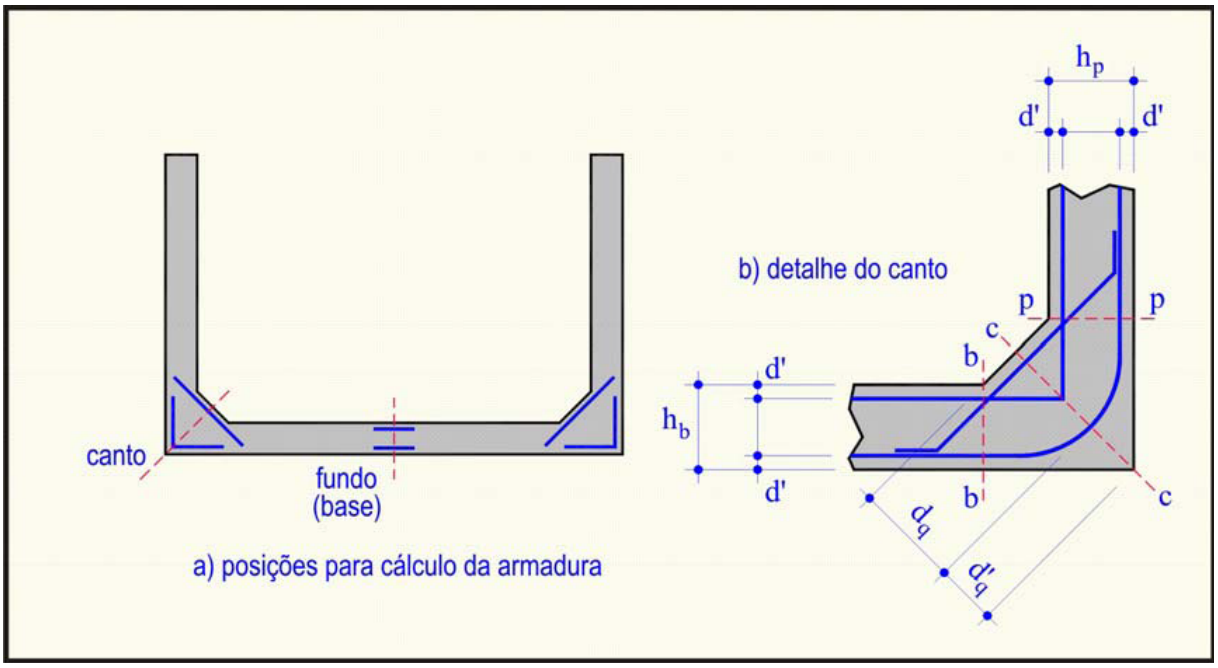


Figura 6.1 Posições para cálculo da armadura e altura útil das seções junto ao canto

6.5 Arranjo da armadura

No dimensionamento das seções especificadas anteriormente, emprega-se o arranjo mostrado na Figura 6.2.

A armadura é constituída de telas soldadas e, se necessário, complementadas com barras de aço.

As telas soldadas dispostas na face interna são retas e as telas soldadas dispostas na face externa são em forma de U e L, transpassando nos cantos e se estendo até ¼ do vão da laje (laje de fundo ou parede lateral). Desta forma, as seções de aço nos cantos correspondem à soma de duas telas.

As barras, quando necessárias, são empregadas na forma reta, na face interna ou face externa, no meio dos vãos da laje (laje de fundo ou parede lateral), ou na forma

de L no lado externo dos cantos. O arranjo da armadura incluiu ainda barras nas faces internas dos cantos.

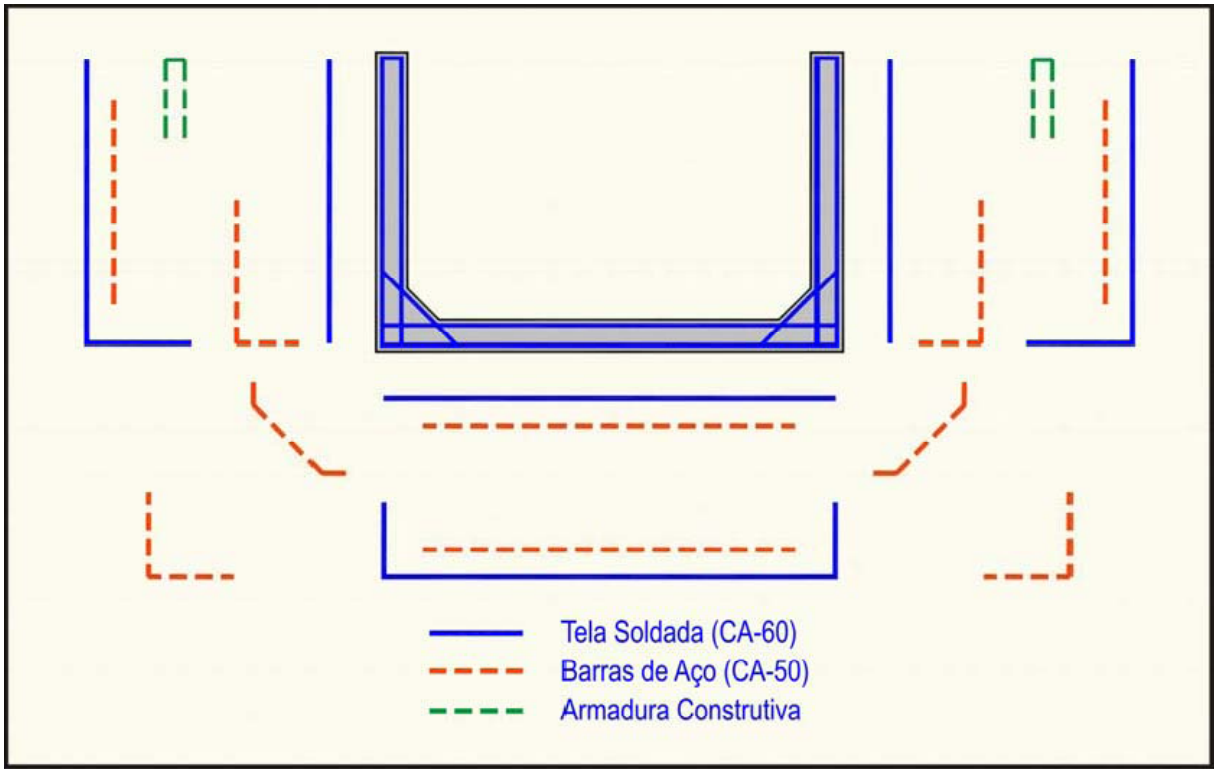


Figura 6.2 Arranjo da armadura

6.6 Cálculo da armadura para as solicitações normais

O cálculo da armadura principal das aduelas é feito de acordo com as hipóteses de cálculo da NBR 6118:2003 [1] para solicitações normais. Este assunto é tratado por um grande número de publicações sobre o projeto de estruturas de concreto armado. Na elaboração dos algoritmos de cálculo da armadura do programa foram empregadas as indicações para o dimensionamento de seção retangular submetidas à flexão composta com grande excentricidade, apresentadas em FUSCO [8], adaptando a formulação para possibilitar o emprego de armaduras com dois tipos de aço (CA-60 das telas e CA-50 das barras).

No cálculo das áreas de aço nas seções especificadas na seção 6.4, adotou-se a seguinte estratégia:

a) cálculo da armadura mínima, nas faces internas e faces externas, no meio do vão da laje;
b) escolha das telas soldadas para atender a armadura mínima;
c) cálculo da armadura adicional, para atender as solicitações;

O cálculo das áreas das armaduras adicionais é feito de forma iterativa objetivando ajustar as armaduras interna e externa a atender às solicitações.

No cálculo da armadura mínima empregou-se a seguinte expressão fornecida pela NBR 6118:2003 [1]:

$$A_{s,min} = 0{,}035h\frac{f_{cd}}{f_{yd}}(\mathrm{cm}^2/\mathrm{cm})$$

(6.1)

Onde f_{cd} e f_{yd} são os valores das resistências de cálculo do concreto e da armadura, respectivamente, e h a espessura das paredes e laje.

6.7 Verificação da resistência à força cortante

A condição que deve ser atendida para que seja prescindida a armadura transversal para resistir aos esforços de tração oriundos da força cortante, é expressa por:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd1} \qquad (6.2)$$

Onde:

- V_{Sd} – força solicitante calculada conforme indicado nas seções 3 e 4, com os coeficientes de ponderação estabelecidos na seção 5.

De acordo com a NBR 6118:2003 [1], a resistência de projeto é dada por:

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} k (1{,}2 + 40\rho_1) + 0{,}15\rho_{cp}] b_w d \qquad (6.3)$$

Onde:

$$\tau_{Rd} = 0{,}25 f_{ctd} \qquad (6.4)$$

$$f_{ctd} = {f_{ctk,inf}}/{\gamma_c} \qquad (6.5)$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w d} \leq 0{,}02 \quad (6.6)$$

$$\sigma_{cp} = {N_{Sd}}/{A_c} \quad (6.7)$$

k é um coeficiente que depende da quantidade de armadura que chega ao apoio e da altura útil da seção, sendo:

- f_{ctd} - resistência de cálculo do concreto ao cisalhamento
- A_{s1} - área da armadura de tração que chega ao apoio e está devidamente ancorada
- N_{Sd} - força normal na seção considerada.

Caso não seja verificada a resistência à força cortante, sem armadura transversal, recomenda-se aumentar a espessura da laje.

6.8 Verificação do limite de fissuração inaceitável

A verificação da abertura de fissura pode ser feita com as expressões da NBR 6118 [1], que fornece as seguintes equações para determinar a grandeza da abertura:

$$W_a = \frac{\emptyset_i}{12{,}5\eta_i}\frac{\sigma_{si}}{E_{si}}\frac{3\sigma_{si}}{f_{ctm}} \quad (6.8)$$

$$W_s = \frac{\emptyset_i}{12{,}5\eta_i}\frac{\sigma_{si}}{E_{si}}\left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45\right) \quad (6.9)$$

Onde:

- ϕ_i - diâmetro do fio da tela soldada tracionada ou do diâmetro da barra;
- η_i - coeficiente de conformação superficial dos fios ou das barras da armadura tracionada;
- σ_{si} - tensão na armadura tracionada, que pode ser calculada com:

$$\sigma_s = \frac{1}{A_s}\left(\frac{M_{Sd}}{0{,}9d} - 0{,}35N_{Sd}\right) \quad (6.10)$$

Em que:

- M_{Sdi} e N_{Sdi} - momento fletor e força normal correspondentes à combinação freqüente de serviço;
- d - altura útil da seção;
- A_s - área da armadura tracionada, por metro linear;
- E_{si} - módulo de elasticidade do aço (210 GPa);
- ρ_{ri} - taxa geométrica do fio da tela soldada ou da barra, em relação à A_{cri}.

$\rho_{ri} = \frac{A_{si}}{A_{cri}}$ com:

- A_{cri} - área do concreto de envolvimento do fio da tela soldada ou da barra, conforme definido na NBR-6118:2003 [1];
- A_{si} - área do fio tracionado da tela soldada ou da barra.

De acordo com resultados experimentais apresentados em HEGER & MCGRATH [9], o efeito da aderência da tela, comparado com fios lisos, colocado na forma de coeficiente de aderência, está apresentado a seguir:

η_b = 1,5	para tela soldada com fio liso e espaçamento máximo dos fios longitudinais de 200mm
η_b = 1,9	para tela soldada com fio nervurado

Merece ser destacado que, atualmente no Brasil, as telas soldadas só têm sido produzidas com fio nervurado. Na falta de indicações mais precisas para o valor de η_i, recomenda-se utilizar η_i = *2,25* nas expressões da avaliação da abertura de fissuras, que corresponde ao caso de barra de alta aderência.

A primeira expressão (w_a) corresponde à fissuração assistemática, ou não sistemática, e a segunda (w_s) à fissuração sistemática. Este assunto pode ser visto, por exemplo, em publicação do IBTS *O uso da tela soldada no combate a fissuração* [10].

O menor dos valores das duas expressões corresponde à avaliação da abertura de fissura.

A combinação freqüente de serviço para cálculo de M_{Sd} e N_{Sd} é feita com:

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{F_{Gi,k}} + \Psi_{1}\mathrm{F_{qk}} \qquad (6.11)$$

As ações permanentes seriam o peso próprio e o empuxo de terra. As ações variáveis seriam as cargas móveis e o empuxo de terra das cargas móveis. A ação da água também pode ser desprezada nesta verificação.

Considerando que a carga móvel equivale à das pontes rodoviárias, o fator de redução para a combinação freqüente vale:

$\Psi_1 = 0,5$

Na falta de recomendações específicas, pode-se limitar a abertura de fissuras a 0,25mm, com base nas indicações para tubos circulares de concreto [7].

Merece destacar que existe uma razoável incerteza no cálculo deste parâmetro, o que pode ser observado com a colocação da NBR-6118:2003 [1], que se refere a ele como grandeza do valor.

6.9 Verificação da situação de manuseio

A situação manuseio corresponde ao içamento da aduela por, no mínimo, quatro pontos conforme mostrado na Figura 6.3 (perspectiva e corte com e sem ângulo).

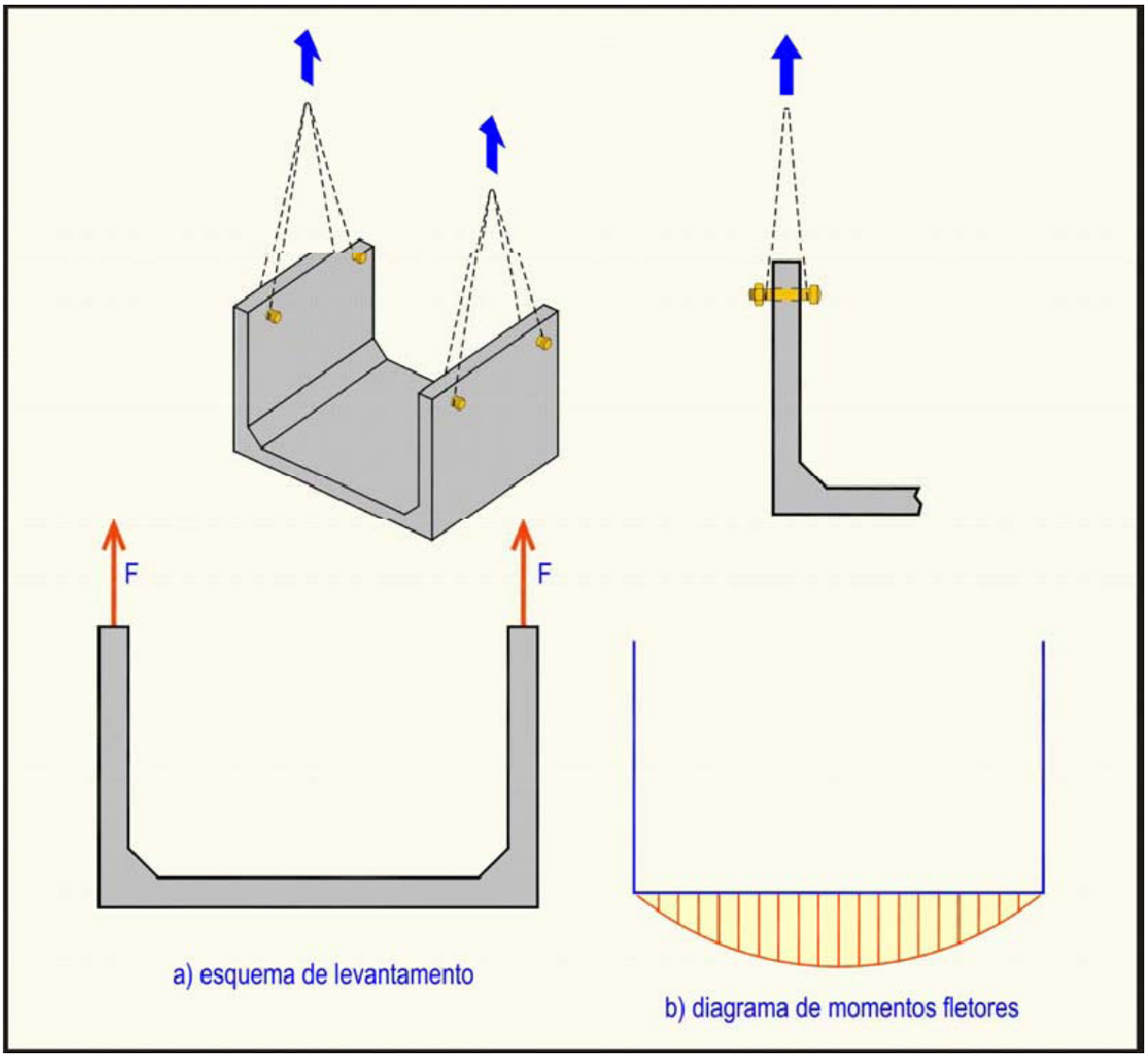


Figura 6.3 Içamento da aduela

O ângulo com que vai ser levantada a aduela tem uma significativa importância no dimensionamento. Se o ângulo for 90 graus, ou seja, os cabos são verticais, os esforços introduzidos não são muito elevados. No entanto, à medida que vai diminuindo este ângulo, vai aparecer uma componente horizontal no ponto de içamento que aumenta significativamente os momentos fletores nas paredes e no fundo da aduela (Figura 6.4). Recomenda-se não utilizar ângulos menores que 45 graus.

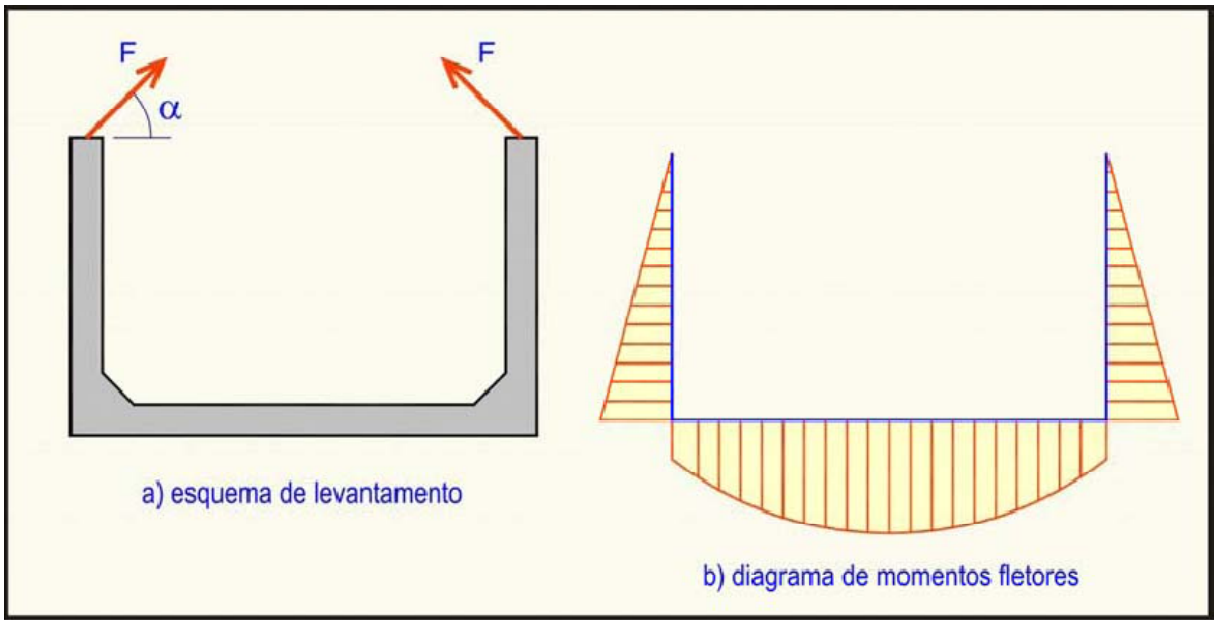


Figura 6.4 Momentos fletores no içamento com ângulo menor que 90º

A partir dos momentos fletores pode-se calcular a armadura nas faces internas dos cantos e verificar se as armaduras existentes nas outras seções são suficientes.

Nesta análise devem ser considerados: a) a resistência do concreto na data de levantamento; b) coeficiente de ponderação das ações de 1,2, por se tratar de combinação de construção, conforme adiantado na seção 5 e c) coeficiente de impacto de 1,2, para considerar a movimentação do elemento.

07 EXEMPLOS COMENTADOS DE CÁLCULO

Com o intuito de ilustrar o emprego do programa, apresentam-se a seguir dois exemplos comentados de cálculo.

7.1 Exemplo 1

Este exemplo corresponde a uma aduela de seção transversal aberta com seção 2,0 metros de largura livre por 1,5 metros de altura livre. A espessura é de 15 cm com mísulas de 15 cm. O comprimento da aduela é de 1,0 metro. Na Figura 7.1 mostra se a janela da tela referente aos dados da *Geometria*.

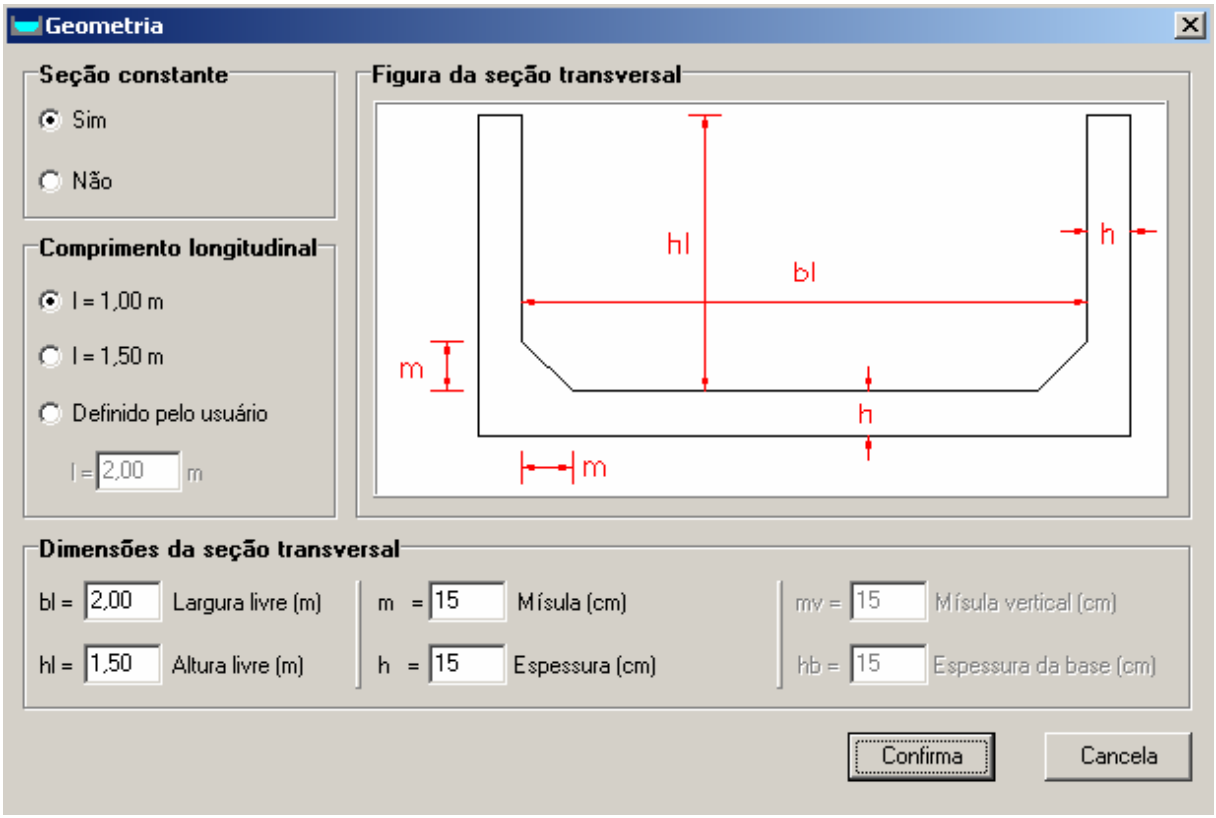


Figura 7.1 Página da entrada de dados: *Geometria*

Cabe destacar que a seleção de *não* para *seção constante* possibilita empregar espessuras diferentes para a laje de fundo (base), paredes laterais e para as mísulas.

A espessura mínima para as paredes laterais e a laje de fundo estabelecida no programa é 15 cm.

Na Figura 7.2 apresenta-se a próxima janela correspondente aos dados do Solo. No programa pode-se optar por considerar o terreno adjacente a aduela, *horizontal* ou *inclinado*, neste último caso o usuário define qual o ângulo de inclinação a considerar. O peso específico e o ângulo de atrito do solo são aqueles indicados

pela NBR 7187 [2], denominadas no programa de solo padrão, ou ainda podem ser especificados pelo projetista. As demais características são calculadas automaticamente pelo programa.

A próxima etapa é a escolha da *Sobrecarga*. Os tipos possíveis de sobrecarga foram divididos em dois grupos:

a) pressões produzidas pelo solo e pela água: pressão do solo, pressão da água interna (canal cheio) e pressão da água externa (canal sem drenagem);
b) pressões produzidas por sobrecargas na superfície: força uniformemente distribuída, sobrecarga rodoviária classe 30 ou 45, sobrecarga rodoviária eixo triplo, nula ou desprezível.

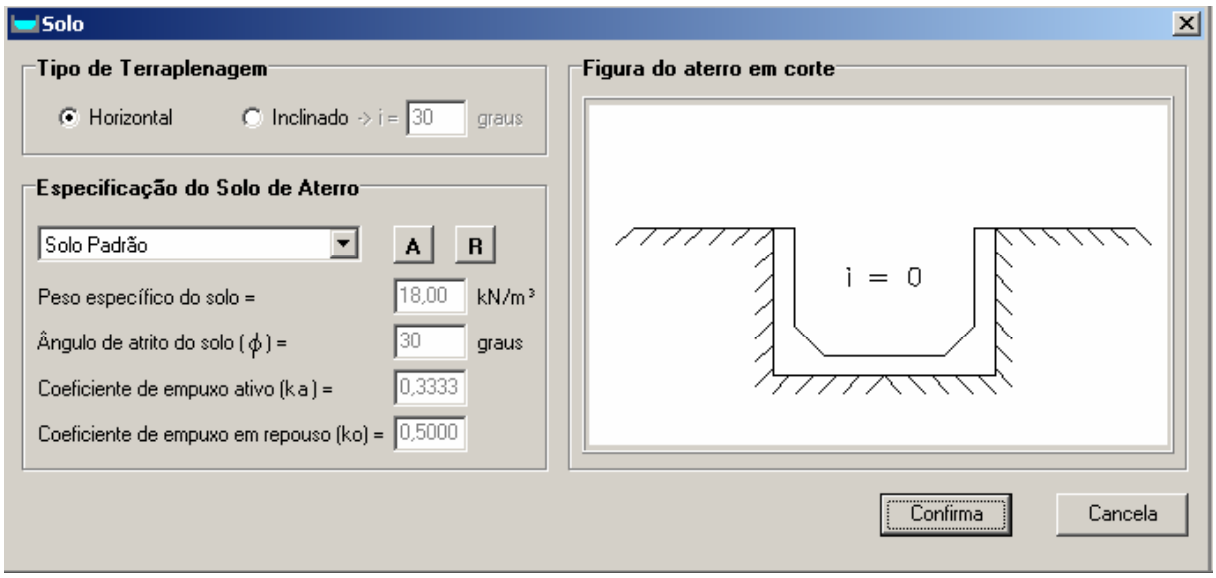


Figura 7.2 Página da entrada de dados: *Solo*

Salienta-se que as sobrecargas do primeiro grupo podem ser combinadas, o que não vale para o segundo grupo, ou seja, neste poderá atuar, ou não, somente uma sobrecarga especificada pelo projetista. Informa-se ainda que o programa sempre levará em conta a pressão do solo descrita no primeiro grupo.

Neste exemplo estão sendo consideradas a pressão do solo, a pressão da água interna (canal cheio) e a sobrecarga rodoviária, com trem-tipo da Classe 45, o que corresponde à passagem de veículos pesados ao lado da aduela de seção transversal aberta. Na Figura 7.3 está mostrada a janela desta tela.

A janela seguinte, ilustrada na Figura 7.4, corresponde aos dados do *Içamento*. A resistência do concreto na data que a peça for içada, conforme o esquema da Figura 6.3 foi considerada 15 MPa. Ainda segundo esta figura, o total de pontos escolhidos para içamento é 4. O coeficiente de impacto para levar em conta que a ação é dinâmica, foi considerado 1,2, que é o valor em geral indicado para manuseio de elementos de concreto pré-moldado. Cabe observar que este conjunto de informações refere-se apenas à situação de manuseio da aduela.

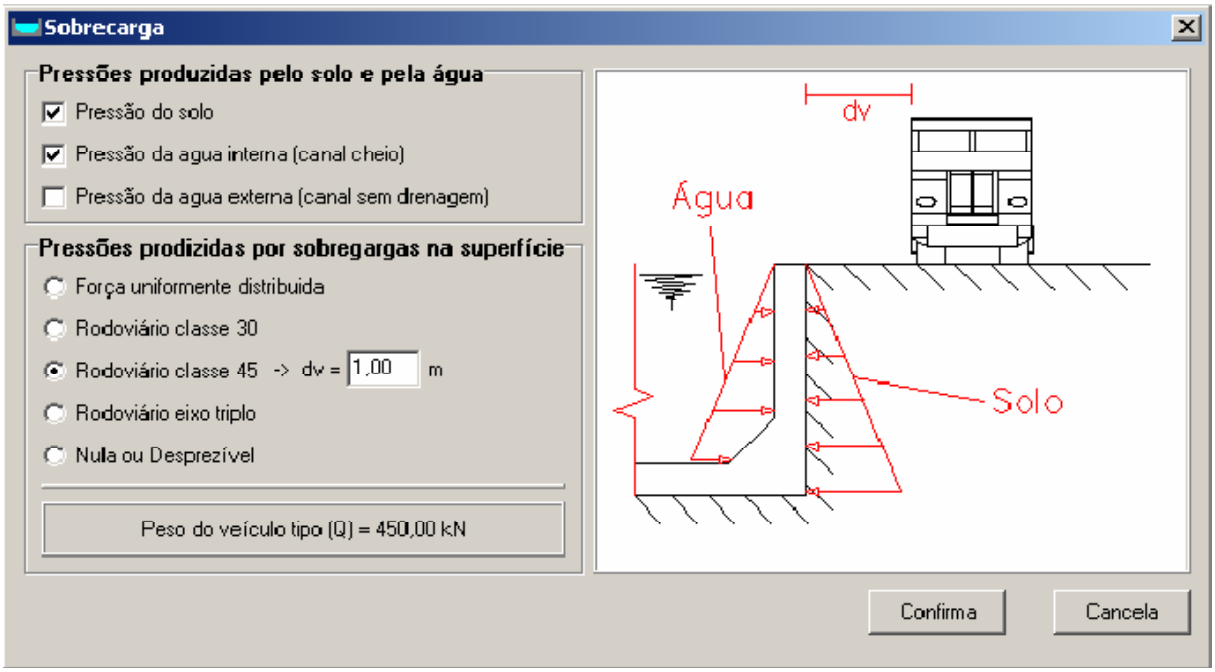


Figura 7.3 Página da entrada de dados: *Sobrecarga*

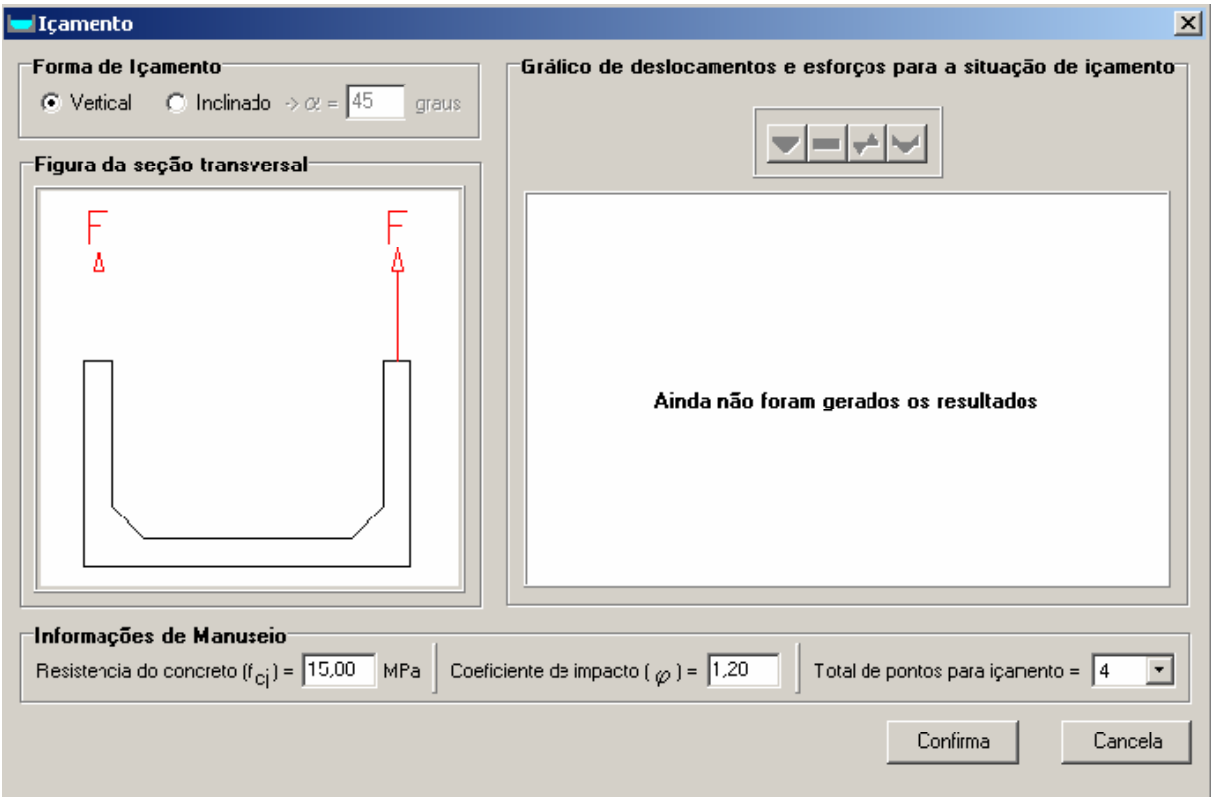


Figura 7.4 Página da entrada de dados: *Içamento*

A última janela de dados, mostrada na Figura 7.5, refere-se ao *Critério de Projeto*, que adiciona as demais informações de projeto.

Estas informações são:

a) *Dados dos materiais*: resistência característica do concreto, no caso, de 30 MPa; peso específico do concreto, com valor indicado pela NBR 6118 de 25 kN/m^3; peso específico do aço, no caso, de 78 kN/m^3; módulo de deformação longitudinal do concreto, com possibilidade do usuário fornecer valor diferente do recomendado pela NBR 6118;

b) *Resistência do solo na base (apoio elástico)*: o módulo de reação do solo recomendado pode ser dado em função da resistência do solo (baixa, média ou alta) ou definido pelo usuário, no exemplo apresentado a resistência do solo foi considerada baixa;

Cabe destacar que o módulo de reação do solo é um fator de grande influência nos momentos fletores, principalmente na laje de fundo (base). Quanto maior for este módulo, menores serão os momentos fletores.

c) *Variação para cálculo das barras*: as tolerâncias para escolha da armadura são no mínimo de 5% (ou seja, admite-se que a área da armadura escolhida pode ser até 5% inferior ao valor calculado) e no máximo de 15% (ou seja, a área da armadura escolhida pode ser até 15% superior ao valor calculado);
d) *Coeficiente de ponderação dos materiais*: para o concreto e o aço foram adotados os valores de 1,4 e 1,15, respectivamente; o usuário também pode estabelecer quais valores utilizar para estes coeficientes;
e) *Coeficiente de ponderação das ações*: no caso das ações permanentes, foram adotados para o peso próprio e o solo os valores de 1,00 e 1,35, respectivamente; para as ações variáveis correspondentes a carga móvel e água foram adotados, respectivamente, 1,50 e 1,20; a seção 5 mostra outros valores recomendados;
f) *Dados da armadura*: o cobrimento nominal da armadura foi considerado de 3 cm (30 mm) e o comprimento de ancoragem de 30 cm (300 mm);
g) *Consideração quanto à fissuração*: para a abertura de fissuras o valor adotado foi de 0,25mm e a redução da rigidez devido à não linearidade física foi de 0,5;

Cabem aqui alguns comentários sobre o valor da redução de rigidez. O valor de 0,5 foi escolhido com base na NBR 6118:2003 que sugere 0,8 para pilares e 0,4 para vigas, na verificação da estabilidade global de edifícios. Tendo em vista que as paredes da aduela estão sujeitas a uma flexo-compressão de grande excentricidade, o valor de 0,5 significa que a redução de rigidez sugerida estaria mais próxima daquela recomendada para as vigas. Destaca-se ainda que um valor mais alto deste coeficiente faria com que os resultados da análise estrutural fossem mais próximos do cálculo elástico linear, normalmente empregado. Por outro lado, um valor mais baixo, implicaria em maior redistribuição dos esforços solicitantes.

h) *Comprimento máximo de cada elemento finito*, no caso, foi utilizado o valor de 20 cm;

Vale destacar que, com a escolha de um comprimento máximo para cada elemento menor ter-se-ia, em princípio, maior precisão, mas um maior tempo de

processamento. Por outro lado, um comprimento maior implica em menor tempo de processamento, porém resulta em uma menor precisão.

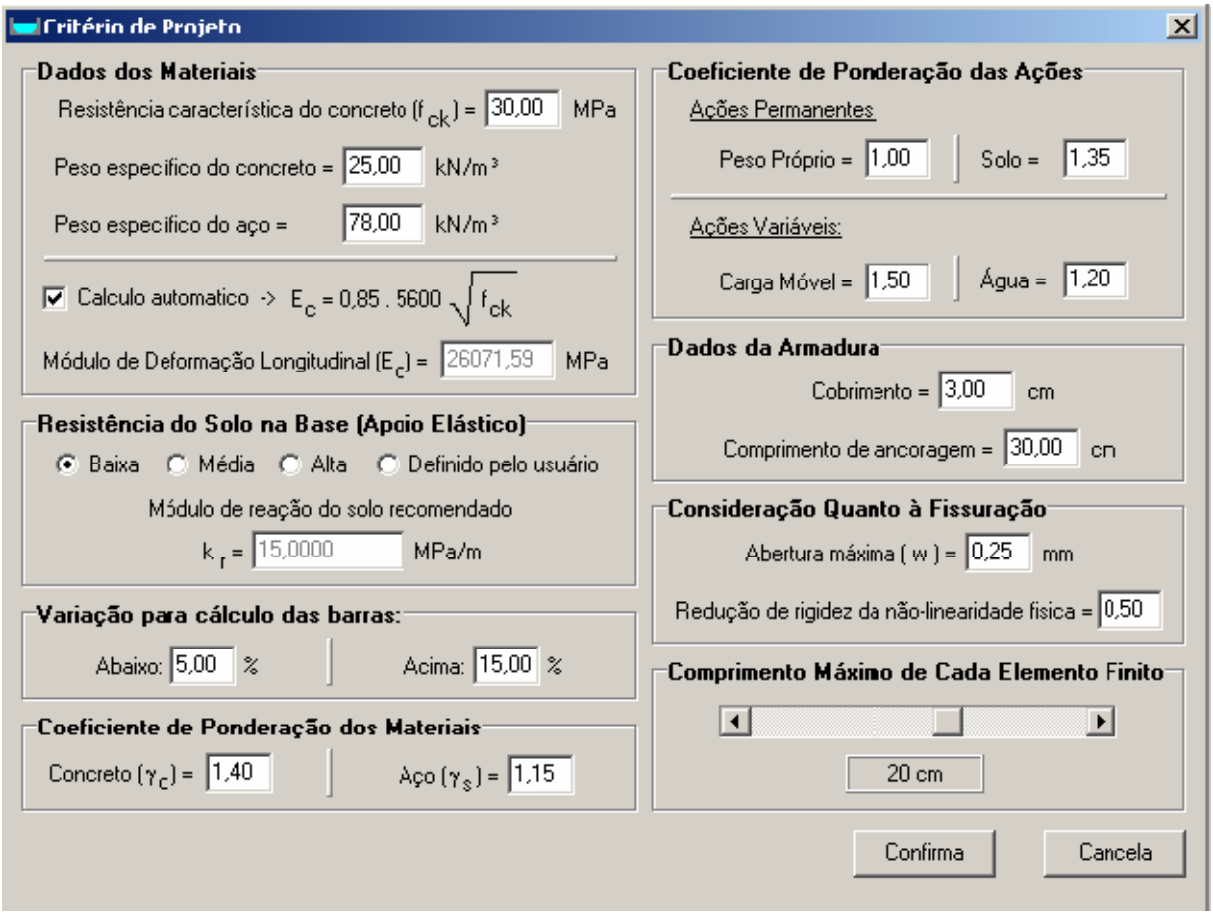


Figura 7.5 Página da entrada de dados: *Critério de Projeto*

Com um clique no próximo ícone da barra de ferramentas, *Calcular*, faz-se o cálculo dos deslocamentos, dos esforços solicitantes e da armadura.

Após o cálculo, é possível visualizar, ainda na página da entrada de dados no item referente ao *Içamento*, os deslocamentos e esforços da seção transversal da aduela para a situação de içamento, como mostra a Figura 7.6.

Ao lado do ícone *Calcular*, pode-se visualizar quatro ícones correspondentes aos deslocamentos da estrutura e aos esforços solicitantes (força normal, força cortante e momento fletor), como mostra a Figura 7.7.

Com o ícone da direita do próximo bloco, obtém-se a armadura calculada, conforme mostrado na Figura 7.8.

A armadura interna nos cantos, normalmente necessária apenas para as condições de manuseio, pode ser menor que a armadura mínima, por se tratar de uma situação transitória.

O programa possibilita que o projetista possa escolher tipos de telas soldadas fornecidas automaticamente. Ao se fazer uma escolha diferente de tela soldada, pode-se modificar a quantidade de barras nas armaduras interna e externa, de forma a atender as armaduras necessárias.

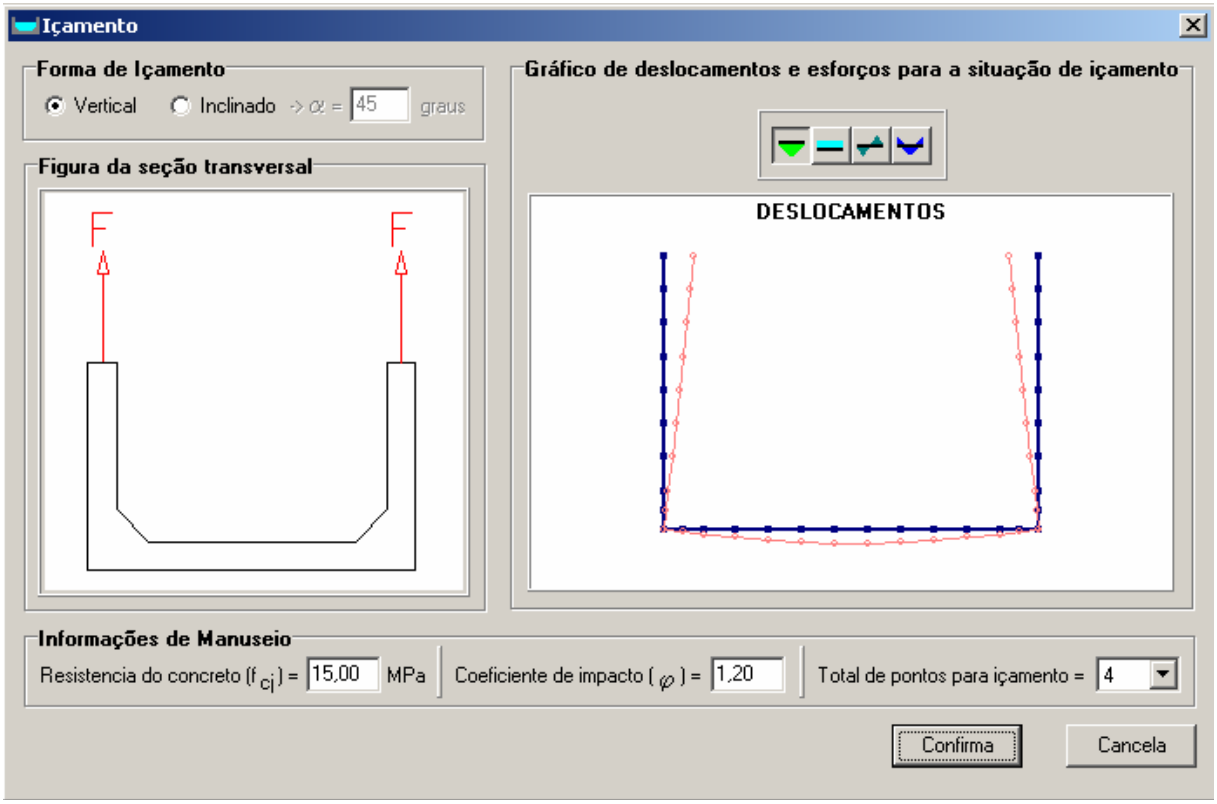


Figura 7.6 Página da entrada de dados: *Içamento*

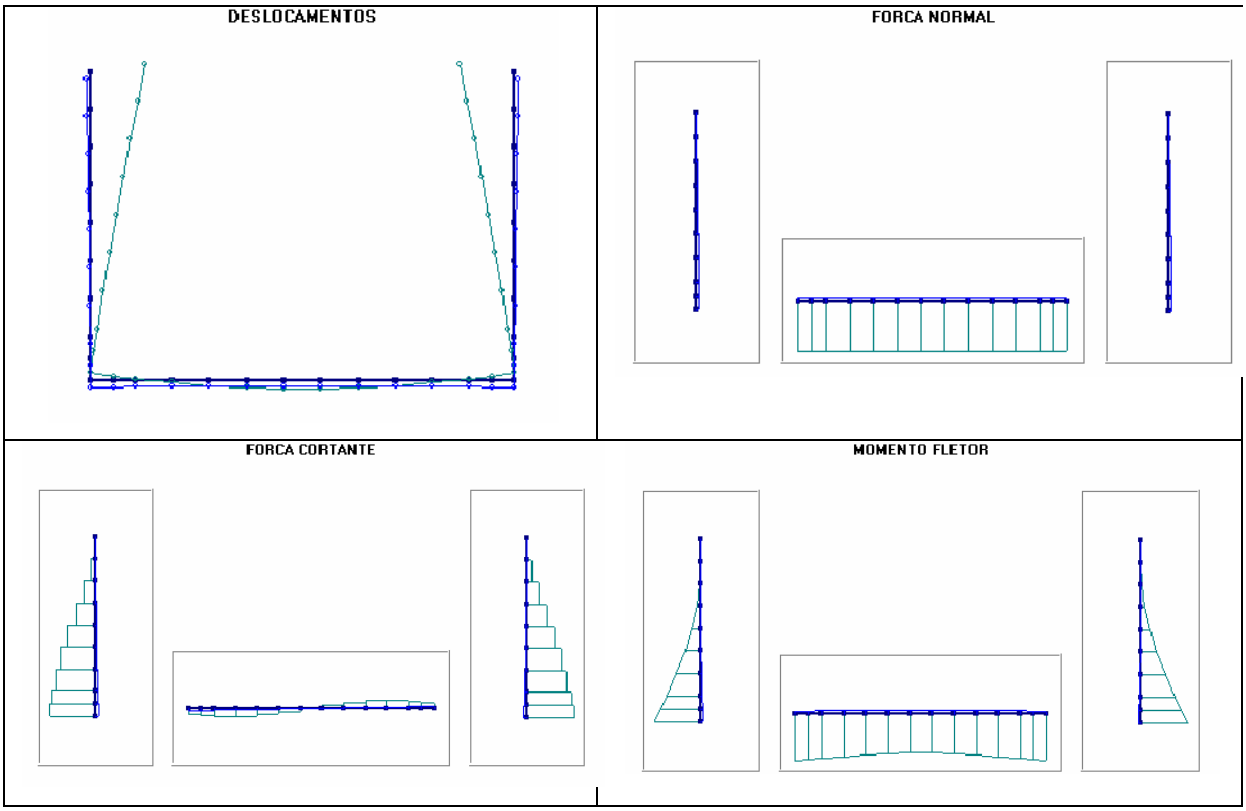


Figura 7.7 Deslocamentos e esforços solicitantes na aduela

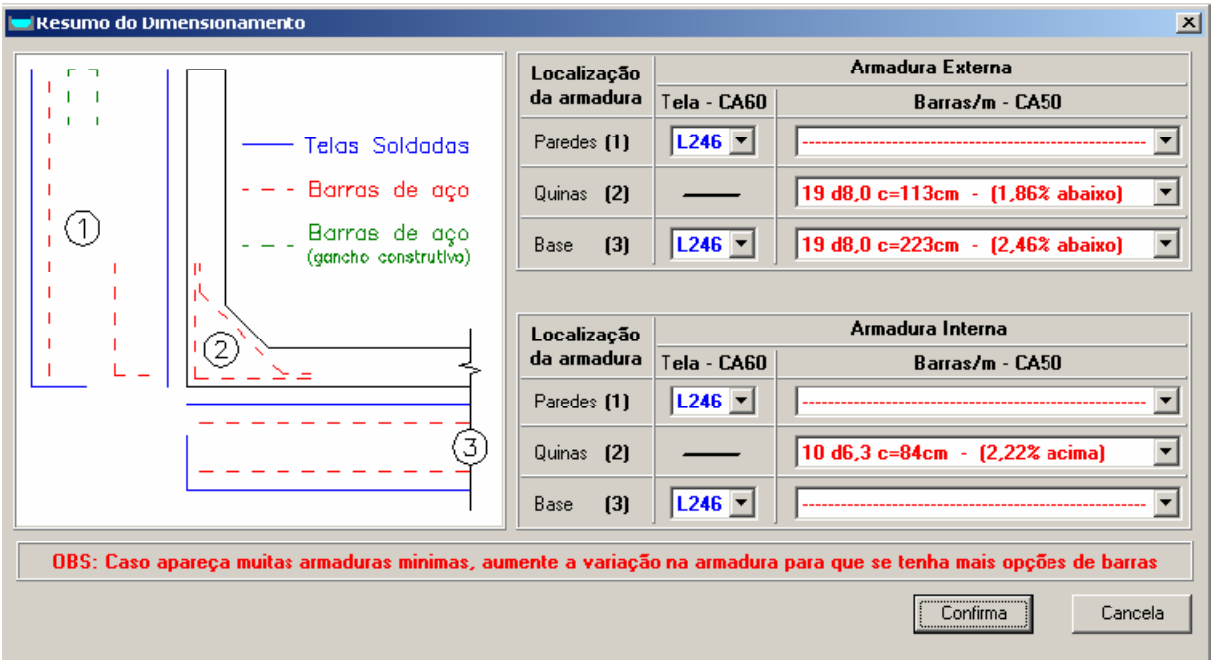


Figura 7.8 Armaduras calculadas

Desta forma, partindo-se da armadura indicada inicialmente na Figura 7.8, pode-se chegar a outros arranjos de armaduras (tela soldada e barras), como é o caso da armadura apresentada na Figura 7.9.

Cabe observar que com a troca da tela soldada L246 por L113, de diâmetro e seções menores, houve a necessidade de incluir novas armaduras externa e interna na aduela, aumentando assim a quantidade de barras de aço CA-50.

Com o outro ícone à esquerda, pode-se obter o custo dos materiais (concreto e armadura) e com o último ícone deste bloco tem-se o relatório feito pelo programa, que inclui todas as informações necessárias para o projeto estrutural de aduela de seção transversal aberta de concreto armado.

7.2 Exemplo 2

Como o programa propicia ao projetista diversos tipos de situações possíveis para o dimensionamento de aduela de seção transversal aberta, o próximo exemplo servirá para testar novas situações para a geometria da aduela e outros parâmetros influentes no projeto estrutural, tais como a falta de drenagem nas paredes laterais da aduela, a consideração de força uniformemente distribuída e ainda a inclinação dos cabos para o içamento do elemento estrutural.

A geometria da aduela de seção transversal aberta tem 3,5 metros de largura livre por 2,5 metros de altura livre. A espessura é de 15 cm com mísulas de 15 cm. O comprimento da aduela é de 1,0 metro. Na Figura 7.10 mostra-se a janela da tela referente aos dados da *Geometria*.

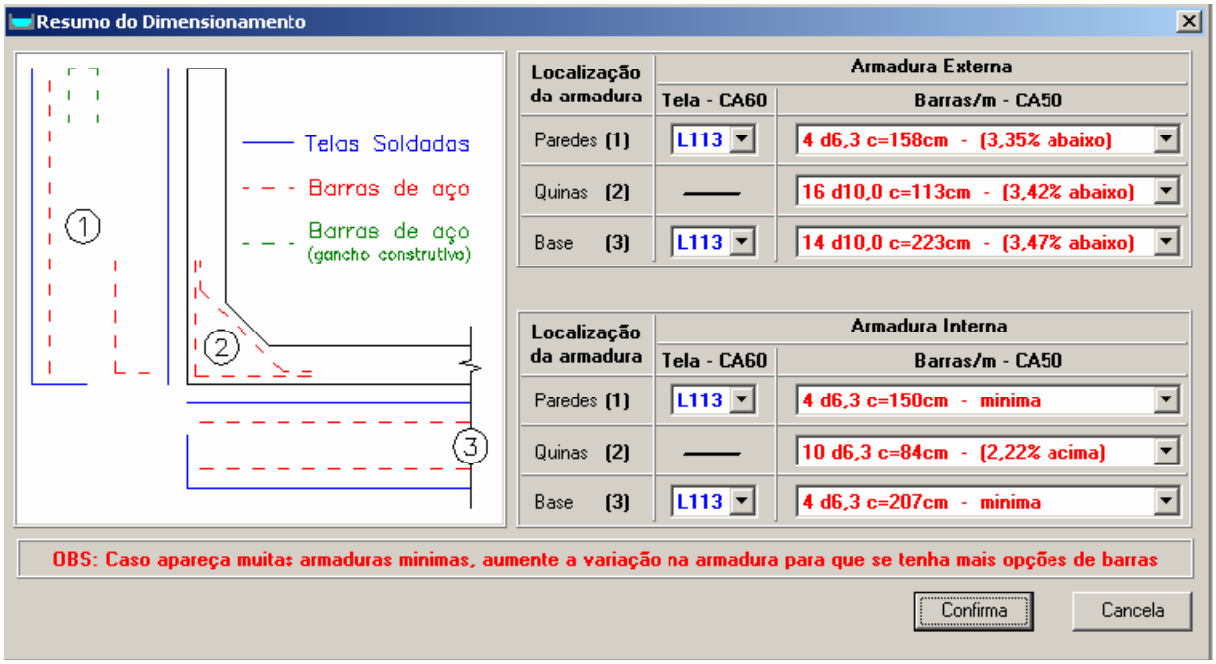


Figura 7.9 Armaduras escolhidas

Os dados do *Solo* estão descritos na Figura 7.11. O terreno adjacente à aduela foi considerado horizontal e a especificação do solo corresponde ao *solo padrão* indicado no programa. As demais características são calculadas automaticamente pelo programa.

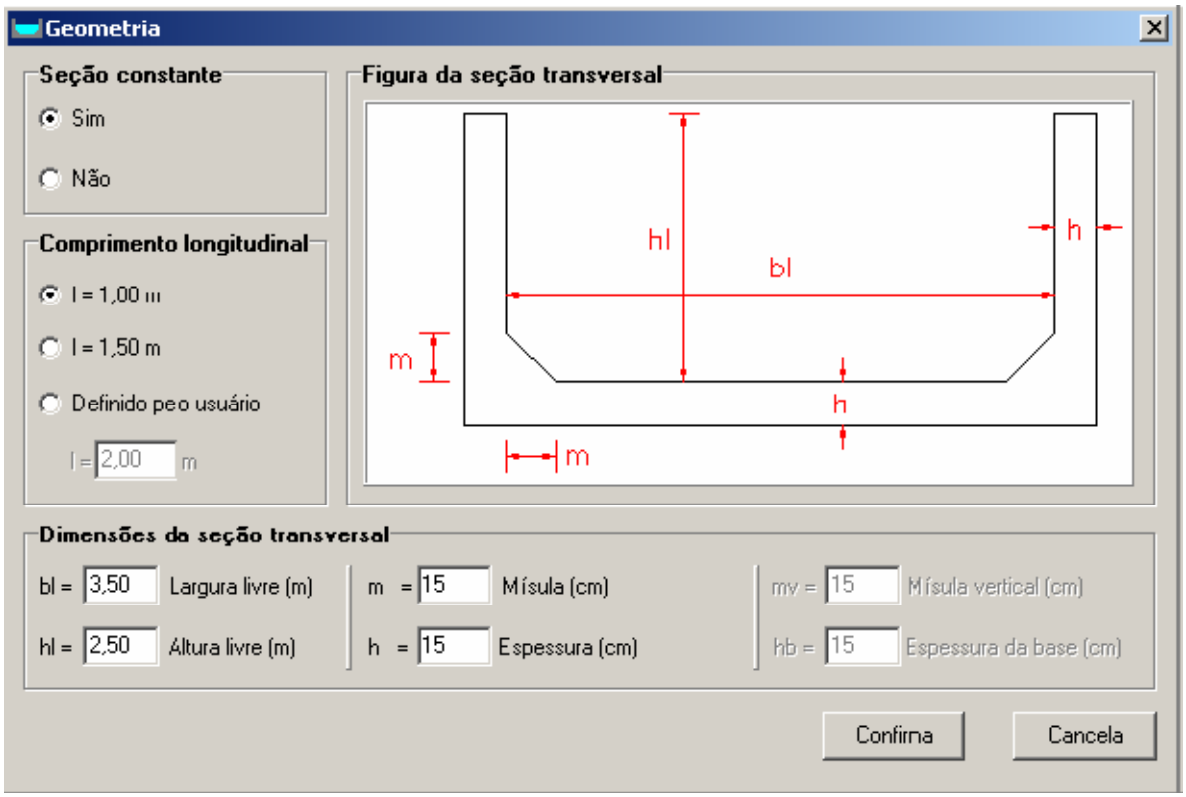


Figura 7.10 Página da entrada de dados: *Geometria*

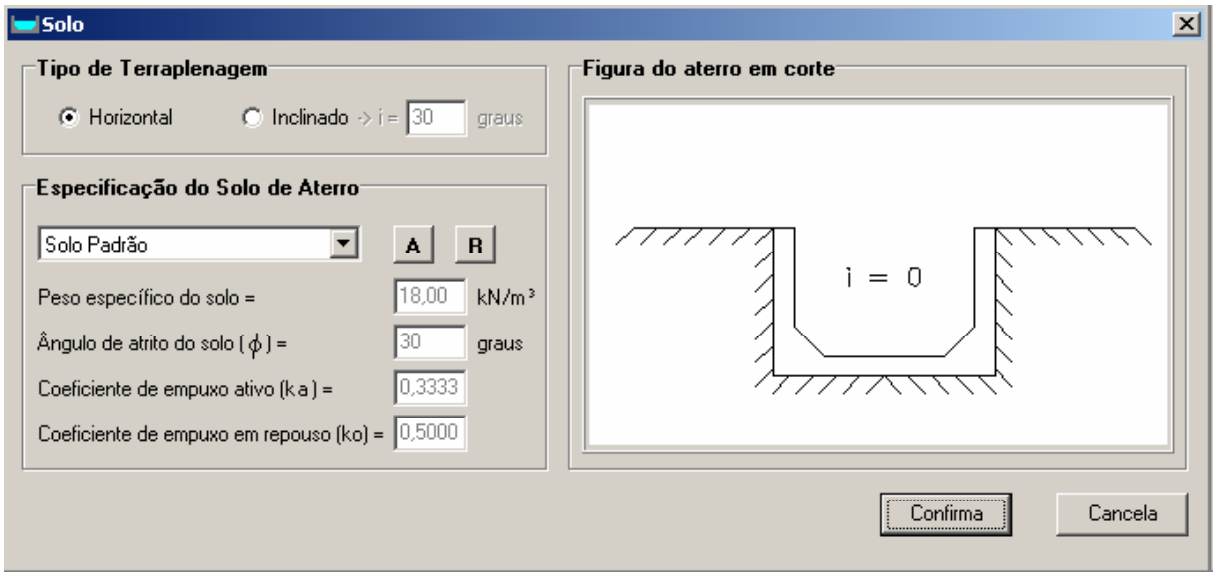


Figura 7.11 Página da entrada de dados: *Solo*

Neste exemplo está sendo considerada a pressão do solo, a pressão da água externa (canal sem drenagem) e uma força uniformemente distribuída de 5 kN/m^2, como ilustra a Figura 7.12.

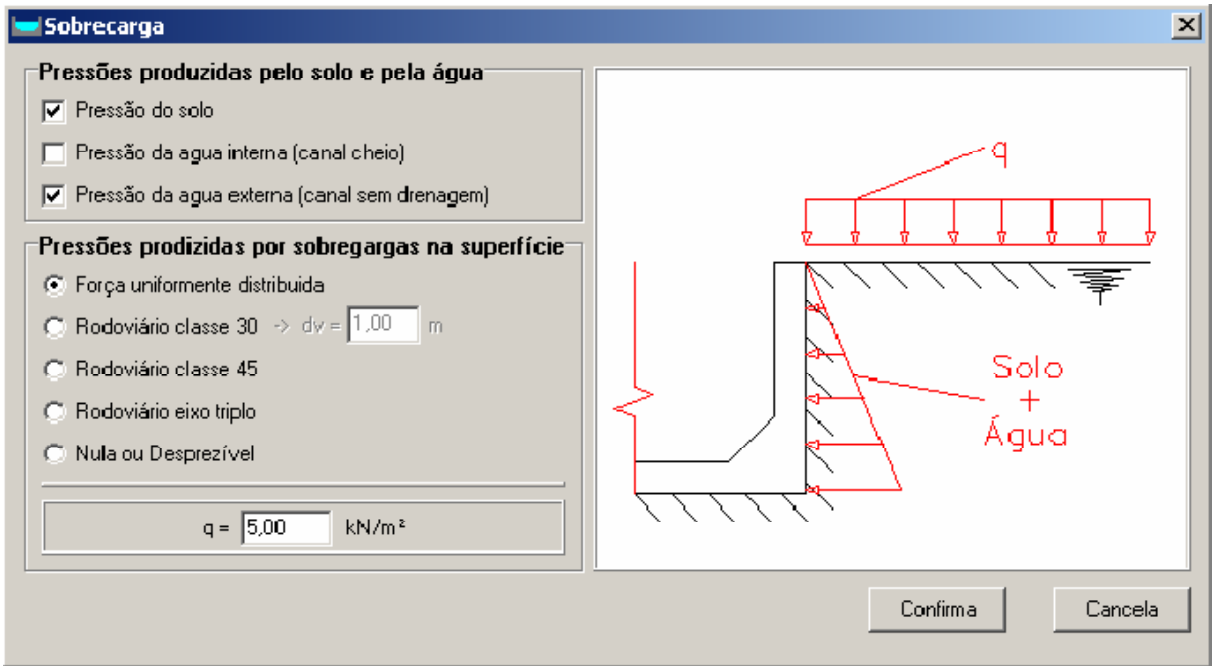


Figura 7.12 Página da entrada de dados: *Sobrecarga*

Com relação aos dados do içamento, a resistência do concreto na data que a peça for içada foi considerada 15 MPa, o total de pontos escolhidos para içamento é 4 e o coeficiente de impacto é de 1,2. Cabe observar que aqui a forma de içamento foi calculada como inclinada, com ângulo de 45 graus, conforme mostra a Figura 7.13.

A última janela de dados, mostrada na Figura 7.14, refere-se ao *Critério de Projeto*, que corresponde as demais informações necessárias para se realizar o cálculo. Tais informações foram comentadas no exemplo anterior.

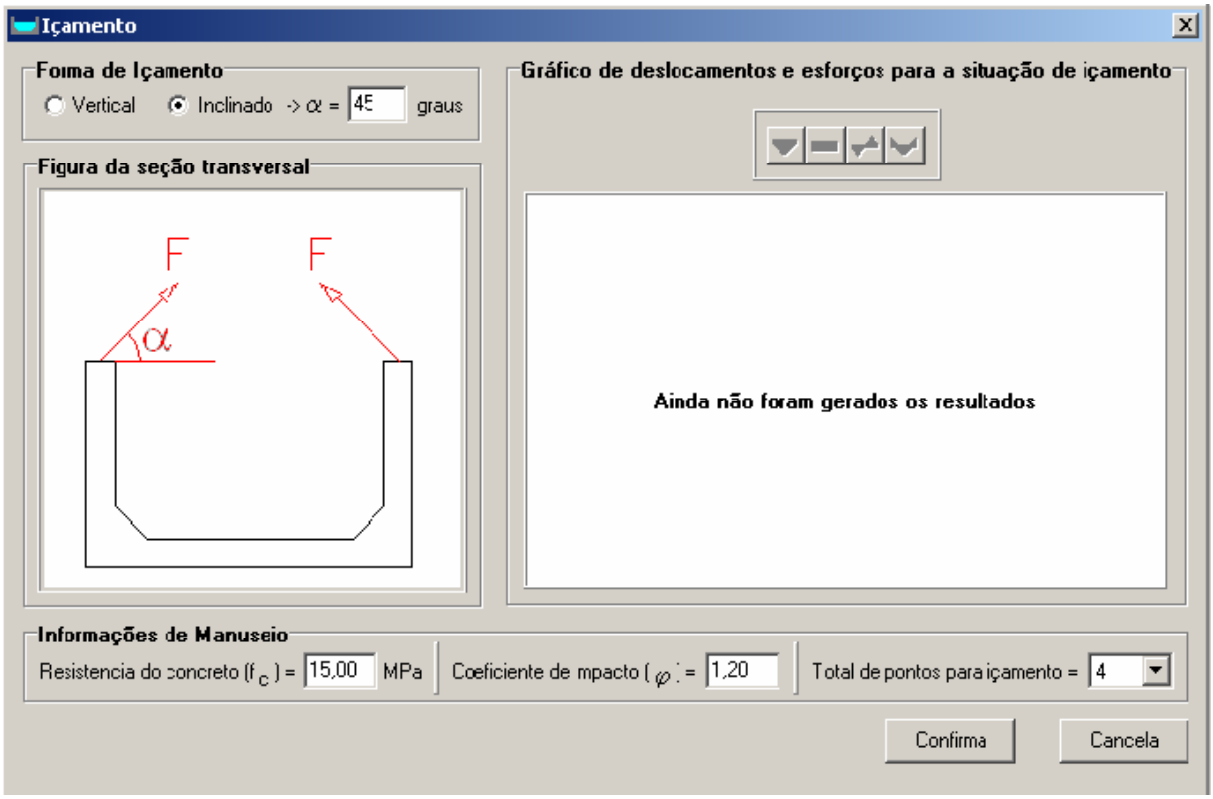


Figura 7.13 Página da entrada de dados: *Içamento*

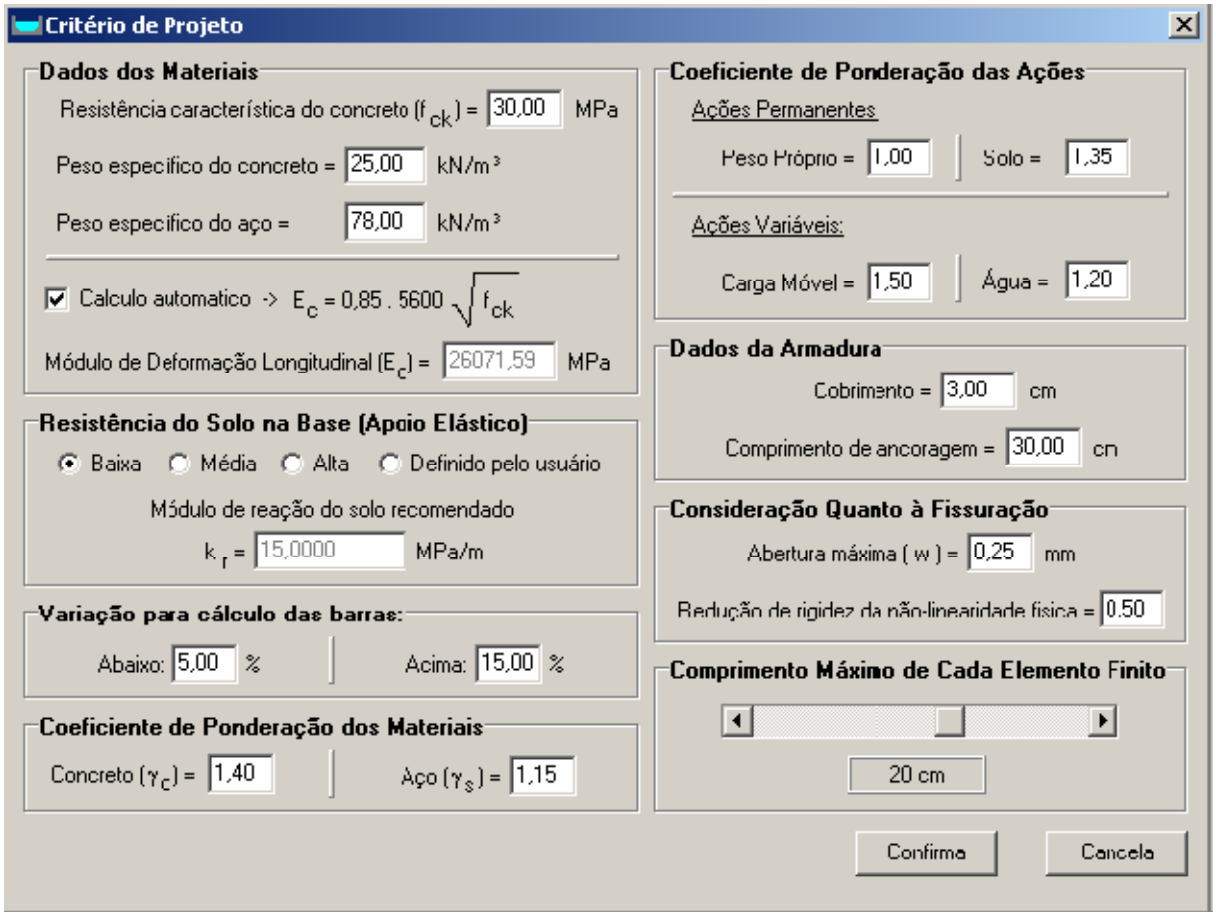


Figura 7.14 Página da entrada de dados: *Critério de Projeto*

Após um clique no ícone *Calcular* é possível visualizar os deslocamentos e esforços solicitantes na aduela, assim como foi verificado na Figura 7.7.

Com o ícone R, obtém-se a armadura calculada, conforme mostrado na Figura 7.15.

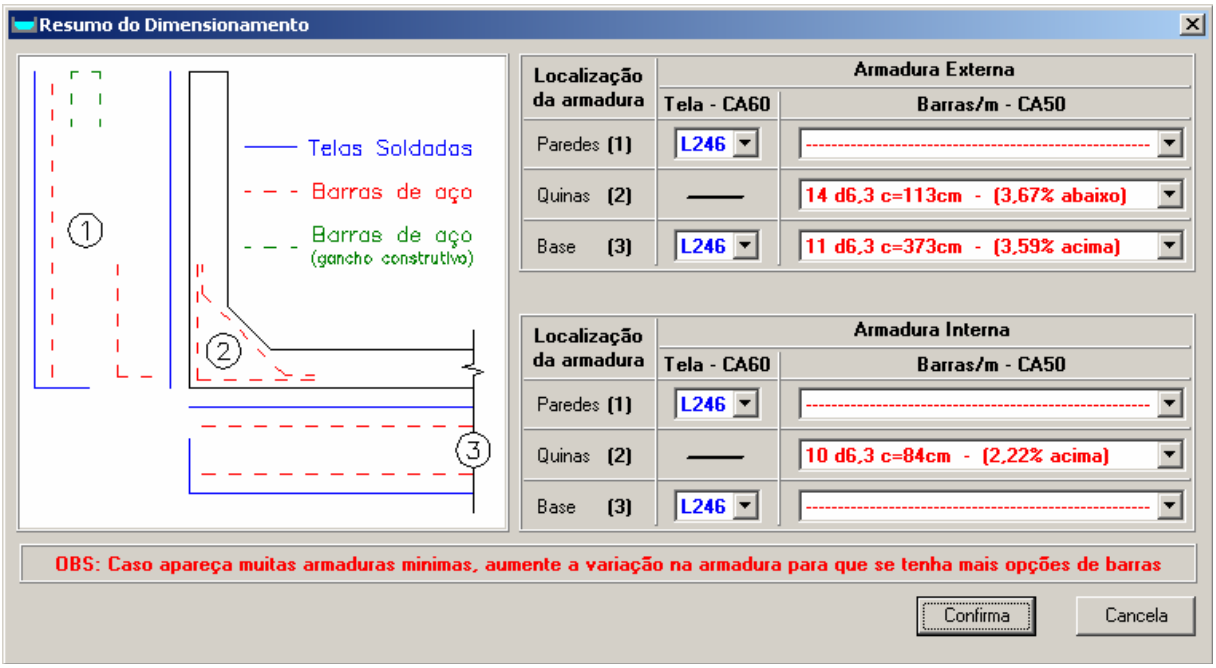


Figura 7.15 Armaduras calculadas

Da mesma forma, como no exemplo anterior, podem-se indicar as barras em função da escolha das telas soldadas. As armaduras propostas na Figura 7.16 é uma possível solução para o projeto estrutural.

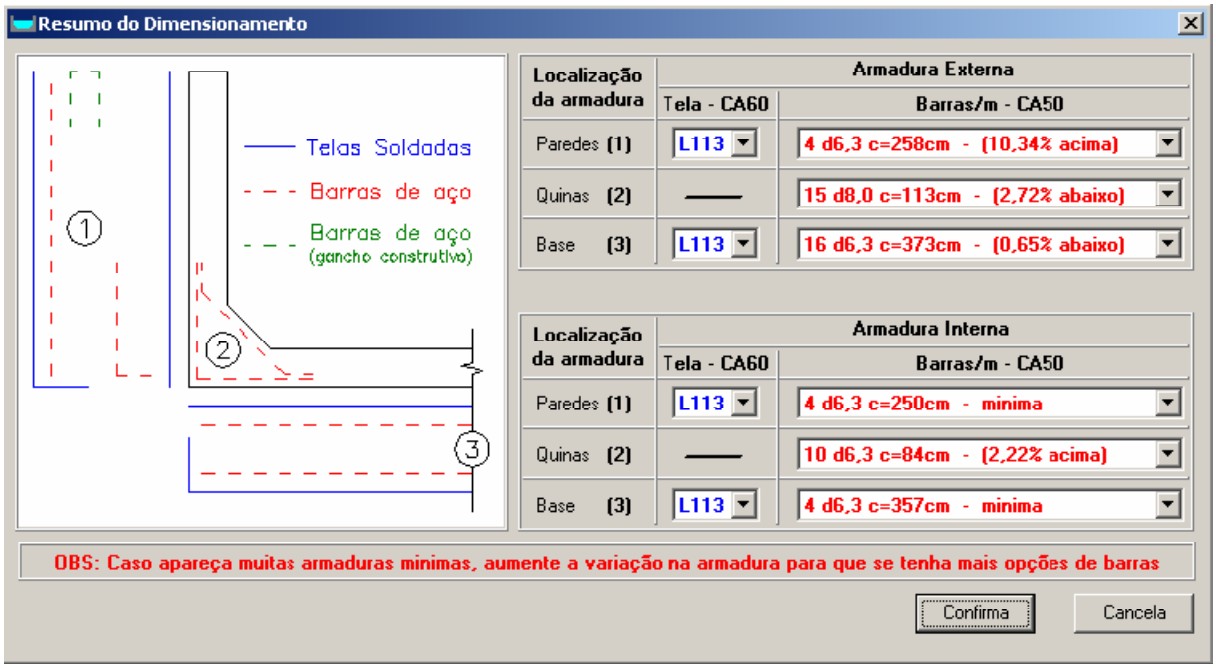


Figura 7.16 Armaduras escolhidas

Ainda é possível obter o custo dos materiais (concreto e armadura) e o relatório feito pelo programa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: *Projeto de estruturas de concreto - procedimento*. Rio de Janeiro, 2003.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7187: *Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - procedimento*. Rio de Janeiro, 2003.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188: *Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre*. Rio de Janeiro, 1984.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: *Ações e segurança nas estruturas - procedimento*. Rio de Janeiro, 2003.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Projeto 18:600.06-002:2005: Aduelas (galerias celulares) de concreto armado pré-fabricadas – requisitos e métodos de ensaio*. Rio de Janeiro, 2006.
6. BOWLES, J. E. *Foundation analysis and design*. Tokyo: McGraw-Hill & Kogakusha, 1977.
7. EL DEBS, M. K. *Projeto estrutural de tubos circulares de concreto armado*. São Paulo, IBTS, 2003.
8. FUSCO, P. B. *Estruturas de concreto: solicitações normais*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981.
9. HEGER, F. J.; MCGRATH, T. Crack width control in design of reinforced concrete pipe and box sections. ACI Journal, v.81, n.2, p.149-184, March – April, 1984.
10. MOLICA JR., S. *O uso da tela soldada no combate à fissuração*. São Paulo: IBTS, s.d.
11. MOLITERNO, A. *Caderno de muros de arrimo*. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
12. RODRIGUES, P. P. F.; CASSARO, C.F. *Pisos industriais de concreto armado*. São Paulo: IBTS, 2002. 2ed.
13. VELOSO, D. A.; LOPES, F. R. *Fundações*. v1. Rio de Janeiro: COPPEUFRJ, 1996.

ANEXO – TABELA DE TELAS SOLDADAS PARA ARMAÇÃO DE ADUELAS

TELAS SOLDADAS NERVURADAS PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

AÇO CA 60		ESPAÇAMENTO ENTRE FIOS (cm)		DIÂMETRO (mm)		SEÇÕES (cm²/m)		APRESENTAÇÃO	DIMENSÕES (m)		PESO	
SÉRIE	DESIGNAÇÃO	LONGITUDINAL	TRANSVERSAL	LONGITUDINAL	TRANSVERSAL	LONGITUDINAL	TRANSVERSAL		LARG.	COMPR.	kg/m²	kg/Peça
61	Q 61	15	15	3,4	3,4	0,61	0,61	ROLO	2,45	120,00	0,97	285,2
75	Q 75	15	15	3,8	3,8	0,75	0,75	ROLO	2,45	120,00	1,27	355,7
92	Q 92	15	15	4,2	4,2	0,92	0,92	ROLO	2,45	60,00	1,48	217,6
	T 92	30	15	4,2	4,2	0,46	0,92	ROLO	2,45	120,00	1,12	329,3
113	Q 113	10	10	3,8	3,8	1,13	1,13	ROLO	2,45	60,00	1,80	264,6
	L 113	10	30	3,8	3,8	1,13	0,38	ROLO	2,45	60,00	1,21	177,9
	T 113	30	10	3,8	3,8	0,38	1,13	ROLO	2,45	60,00	1,22	179,3
138	Q 138	10	10	4,2	4,2	1,38	1,38	ROLO	2,45	60,00	2,20	323,4
	Q 138	10	10	4,2	4,2	1,38	1,38	PAINEL	2,45	6,00	2,20	32,3
	R 138	10	15	4,2	4,2	1,38	0,92	PAINEL	2,45	6,00	1,83	26,9
	M138	10	20	4,2	4,2	1,38	0,69	PAINEL	2,45	6,00	1,65	24,3
	L 138	10	30	4,2	4,2	1,38	0,46	ROLO	2,45	60,00	1,47	216,1
	T 138	30	10	4,2	4,2	0,46	1,38	ROLO	2,45	60,00	1,49	219,0
159	Q 159	10	10	4,5	4,5	1,59	1,59	PAINEL	2,45	6,00	2,52	37,0
	R 159	10	15	4,5	4,5	1,59	1,06	PAINEL	2,45	6,00	2,11	31,0
	M159	10	20	4,5	4,5	1,59	0,79	PAINEL	2,45	6,00	1,90	27,9
	L 159	10	30	4,5	4,5	1,59	0,53	PAINEL	2,45	6,00	1,69	24,8
196	Q 196	10	10	5,0	5,0	1,96	1,96	PAINEL	2,45	6,00	3,11	45,7
	R 196	10	15	5,0	5,0	1,96	1,30	PAINEL	2,45	6,00	2,60	38,2
	M196	10	20	5,0	5,0	1,96	0,98	PAINEL	2,45	6,00	2,34	34,4
	L 196	10	30	5,0	5,0	1,96	0,65	PAINEL	2,45	6,00	2,09	30,7
	T 196	30	10	5,0	5,0	0,65	1,96	PAINEL	2,45	6,00	2,11	31,0
246	Q 246	10	10	5,6	5,6	2,46	2,46	PAINEL	2,45	6,00	3,91	57,5
	R 246	10	15	5,6	5,6	2,46	1,64	PAINEL	2,45	6,00	3,26	47,9
	M246	10	20	5,6	5,6	2,46	1,23	PAINEL	2,45	6,00	2,94	43,2
	L 246	10	30	5,6	5,6	2,46	0,82	PAINEL	2,45	6,00	2,62	38,5
	T 246	30	10	5,6	5,6	0,82	2,46	PAINEL	2,45	6,00	2,64	38,8
283	Q 283	10	10	6,0	6,0	2,83	2,83	PAINEL	2,45	6,00	4,48	65,9
	R 283	10	15	6,0	6,0	2,83	1,88	PAINEL	2,45	6,00	3,74	55,0
	M283	10	20	6,0	6,0	2,83	1,41	PAINEL	2,45	6,00	3,37	49,5
	L 283	10	30	6,0	6,0	2,83	0,94	PAINEL	2,45	6,00	3,00	44,1
	T 283	30	10	6,0	6,0	0,94	2,83	PAINEL	2,45	6,00	3,03	44,5
335	Q 335	15	15	8,0	8,0	3,35	3,35	PAINEL	2,45	6,00	5,37	78,9
	L 335	15	30	8,0	6,0	3,35	0,94	PAINEL	2,45	6,00	3,48	51,2
	T 335	30	15	6,0	8,0	0,94	3,35	PAINEL	2,45	6,00	3,45	50,7
396	Q 396	10	10	7,1	7,1	3,96	3,96	PAINEL	2,45	6,00	6,28	92,3
	R 396	10	15	7,1	7,1	3,96	2,94	PAINEL	2,45	6,00	5,24	77,0
	M396	10	20	7,1	7,1	3,96	1,98	PAINEL	2,45	6,00	4,73	69,5
	L 396	10	30	7,1	6,0	3,96	0,94	PAINEL	2,45	6,00	3,91	57,5
	T 396	30	10	6,0	7,1	0,94	3,96	PAINEL	2,45	6,00	3,92	57,6
503	Q 503	10	10	8,0	8,0	5,03	5,03	PAINEL	2,45	6,00	7,97	117,2
	R 503	10	15	8,0	8,0	5,03	3,35	PAINEL	2,45	6,00	6,66	97,9
	M503	10	20	8,0	8,0	5,03	2,51	PAINEL	2,45	6,00	6,00	88,2
	L 503	10	30	8,0	6,0	5,03	0,94	PAINEL	2,45	6,00	4,77	70,1
	T 503	30	10	6,0	8,0	0,94	5,03	PAINEL	2,45	6,00	4,76	70,0
636	Q 636	10	10	9,0	9,0	6,36	6,36	PAINEL	2,45	6,00	10,09	148,3
	L 636	10	30	9,0	6,0	6,36	0,94	PAINEL	2,45	6,00	5,84	85,8
785	Q 785	10	10	10,0	10,0	7,85	7,85	PAINEL	2,45	6,00	12,46	183,2
	L 785	10	30	10,0	6,0	7,85	0,94	PAINEL	2,45	6,00	7,03	103,3
AÇO CA 60												
1227	LA1227	10	30	12,5	7,1	12,27	1,32	PAINEL	2,45	6,00	10,87	159,8

outras medidas sob consulta