Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

Memória de Cálculo –

Dimensionamento de Viga de Ligação

Ponte sobre o Rio Bengalas E120

Setembro 2024

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Sumário

1. Dados de Entrada 5
1.1. Geometria inicial 5
1.2. Materiais 5
1.3. Carregamentos 5
1.3.1. Cálculo do Peso Próprio 5
1.3.2. Cálculo do Carregamento Total 6
1.4. Condições do solo 6
1.5. Nível do lençol freático 6
2. Cálculo dos Esforços Solicitantes 6
2.1. Momento fletor máximo 6
2.2. Esforço cortante máximo 7
3. Dimensionamento à Flexão 7
3.1. Cálculo da altura útil (d) 7
3.2. Cálculo do momento fletor de cálculo (Md) 7
3.3. Cálculo da posição da linha neutra (x) 7
3.4. Verificação do domínio de deformação 8
3.5. Cálculo da área de aço necessária (As) 8
3.6. Verificação da armadura mínima 8
4. Dimensionamento ao Cisalhamento 8
4.1. Cálculo do esforço cortante de cálculo (Vsd) 8
4.2. Verificação da compressão diagonal do concreto 9
5. Dimensionamento da Armadura Transversal 9
5.1. Cálculo da armadura transversal 9
5.2. Verificação da armadura mínima 10
6. Verificação quanto à fissuração 10

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

6.1. Dimensionamento da armadura de pele 10
7. Verificação quanto à deformação 10
8. Detalhamento da Armadura 11
8.1. Armadura longitudinal 11
8.2. Armadura transversal 11
9. Cálculo do Comprimento de Ancoragem nos Blocos de Fundação 11
9.1. Comprimento de ancoragem básico (lb) 11
9.2. Comprimento de ancoragem necessário (lb,nec) 12
9.3. Detalhamento da Ancoragem nos Blocos de Fundação 13
9.4. Verificação da ancoragem no bloco 13
9.5. Emenda por transpasse 13
9.5.1. Cálculo do comprimento de transpasse 13
9.6. Dimensionamento de armadura de suspensão 13
10. Dimensionamento da Emenda por Transpasse 14
10.1. Comprimento de transpasse (l0t) 14
10.2. Detalhamento da Emenda por Transpasse 14
11. Dimensionamento da Armadura de Suspensão 14
11.1. Cálculo da Reação de Apoio 14
11.2. Área de Aço da Armadura de Suspensão 14
11.3. Detalhamento da Armadura de Suspensão 14
11.4. Distribuição da Armadura de Suspensão 15
11.5. Detalhamento Final 15
11.5.1. Armadura longitudinal 15
11.5.2. Armadura Transversal (estribos): 15
11.5.3. Armadura de pele 15
11.5.4. Armadura de suspensão 16

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

11.5.5. Ancoragem nos blocos de fundação 16
11.5.6. Emendas por transpasse 16
12. Considerações finais 16

Adib Jose Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

1. Dados de Entrada

1.1. Geometria inicial

- Largura (bw) = 0,50 m
- Altura (h) = 2,2 m
- Comprimento (L) = 8,0 m
- Viga bi-engastada

1.2. Materiais

- Concreto (C40)
  - fck = 40 MPa
  - fct,m = 3,51 MPa
  - Ecm = 35.400 MPa
  - G = 13.300 MPa
- Aço
  - Armadura longitudinal e transversal: CA-50
  - fyk = 500 MPa
- Cobrimento
  - c = 5 cm

1.3. Carregamentos

1.3.1. Cálculo do Peso Próprio

Peso específico do concreto armado (γc) = 25 kN/m³

Peso próprio (g1) = bw × h × γc

g1 = 0,50 × 2,2 × 25 = 27,5 kN/m

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br
Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

1.3.2.Cálculo do Carregamento Total

Carregamento permanente adicional (g2) = 450 kN/m

Carregamento total (g) = g1 + g2

g = 27,5 + 450 = 477,5 kN/m

1.4. Condições do solo

- Tipo de solo: Areia siltosa
- NSPT médio (estimado) = 20 golpes
- Ângulo de atrito (φ) = 32°
- Coesão (c) = 0 kPa
- Peso específico (γ) = 18 kN/m³

1.5. Nível do lençol freático

O nível d'água está tocando a face inferior do bloco.

2. Cálculo dos Esforços Solicitantes

2.1. Momento fletor máximo

Para uma viga bi-engastada com carga uniformemente distribuída:

$M_{max} = (g \times L^2) / 12$

$M_{max} = (477,5 \times 8^2) / 12 = 2546,67$ kN.m

Adib Jose Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

2.2. Esforço cortante máximo

$V_{max} = (g \times L) / 2$

$V_{max} = (477,5 \times 8) / 2 = 1910$ kN

3. Dimensionamento à Flexão

3.1. Cálculo da altura útil (d)

Considerando uma estimativa inicial de armadura de 25 mm de diâmetro:

$d = h - c - \varphi t - \varphi l/2$

$d = 2200 - 50 - 10 - 25/2 = 2127,5$ mm

3.2. Cálculo do momento fletor de cálculo (Md)

Coeficiente de majoração $\gamma f = 1,4$ (NBR 6118:2014, item 11.7)

$Md = \gamma f \times M_{max}$

$Md = 1,4 \times 2546,67 = 3565,34$ kN.m

3.3. Cálculo da posição da linha neutra (x)

Utilizando o método do diagrama retangular simplificado:

$x/d = [1 - \sqrt{(1 - 2Md / (0,85 fcd\ bw\ d^2))}] / 0,8$

Onde:

$fcd = fck / \gamma c = 40 / 1,4 = 28,57$ MPa

$x/d = [1 - \sqrt{(1 - 2 \times 3565,34 \times 10^6 / (0,85 \times 28,57 \times 10^6 \times 500 \times 2127,5^2))}] / 0,8$

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br
Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

x/d = 0,263

x = 0,263 × 2127,5 = 559,5 mm

3.4. Verificação do domínio de deformação

x/d = 0,263 < 0,45 (limite entre os domínios 3 e 4)

A viga está no domínio 3, o que é adequado para o dimensionamento.

3.5. Cálculo da área de aço necessária (As)

As = Md / (fyd × (d - 0,4x))

Onde:

fyd = fyk / γs = 500 / 1,15 = 434,78 MPa

As = 3565,34 × 10^6 / (434,78 × (2127,5 - 0,4 × 559,5))

As = 4080,9 mm^2 = 40,81 cm^2

3.6. Verificação da armadura mínima

As,min = 0,15% × bw × h = 0,0015 × 500 × 2200 = 1650 mm^2 = 16,50 cm^2

As calculado (40,81 cm^2) > As,min (16,50 cm^2), portanto, ok.

4. Dimensionamento ao Cisalhamento

4.1. Cálculo do esforço cortante de cálculo (Vsd)

Vsd = γf × V_max

Vsd = 1,4 × 1910 = 2674 kN

Adib Jose Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

4.2. Verificação da compressão diagonal do concreto

$V_{Rd2} = 0,27 \times \alpha_{v2} \times f_{cd} \times b_w \times d$

Onde:

$\alpha_{v2} = 1 - f_{ck} / 250 = 1 - 40 / 250 = 0,84$

$V_{Rd2} = 0,27 \times 0,84 \times 28,57 \times 500 \times 2127,5 = 6897,3$ kN

V_{sd} (2674 kN) < V_{Rd2} (6897,3 kN), portanto, a seção é adequada quanto à compressão diagonal do concreto.

5. Dimensionamento da Armadura Transversal

5.1. Cálculo da armadura transversal

$V_{c0} = 0,6 \times f_{ctd} \times b_w \times d$

Onde:

$f_{ctd} = 0,7 \times f_{ct,m} / \gamma_c = 0,7 \times 3,51 / 1,4 = 1,755$ MPa

$V_{c0} = 0,6 \times 1,755 \times 500 \times 2127,5 = 1120,5$ kN

$V_{sw} = V_{sd} - V_{c0} = 2674 - 1120,5 = 1553,5$ kN

$A_{sw}/s = V_{sw} / (0,9 \times d \times f_{ywd})$

Onde:

$f_{ywd} = f_{yd} = 434,78$ MPa

$A_{sw}/s = 1553,5 \times 10^3 / (0,9 \times 2127,5 \times 434,78) = 1,87$ cm²/m

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

5.2. Verificação da armadura mínima

$(Asw/s)min = 0,2 \times (fct,m / fywk) \times bw$

$(Asw/s)min = 0,2 \times (3,51 / 500) \times 500 = 0,702\ cm^2/m$

Asw/s calculado (1,87 cm^2/m) > (Asw/s)min (0,702 cm^2/m), portanto, ok.

6. Verificação quanto à fissuração

6.1. Dimensionamento da armadura de pele

$As,pele = 0,10\% \times Ac,alma = 0,001 \times (2200 - 2 \times 50) \times 500 = 10,5\ cm^2$

Distribuir em ambas as faces da alma.

7. Verificação quanto à deformação

Para vigas bi-engastadas, a flecha imediata pode ser calculada por:

$a = 5 \times g \times L^4 / (384 \times Ec \times I)$

Onde:

$Ec = 5600 \times \sqrt{fck} = 5600 \times \sqrt{40} = 35417,5\ MPa$

$I = bw \times h^3 / 12 = 500 \times 2200^3 / 12 = 4,43 \times 10^{11}\ mm^4$

$a = 5 \times 477,5 \times 8000^4 / (384 \times 35417,5 \times 4,43 \times 10^{11}) = 4,61\ mm$

Flecha limite = L / 250 = 8000 / 250 = 32 mm

Flecha calculada (4,61 mm) < Flecha limite (32 mm), portanto, ok.

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

8. Detalhamento da Armadura

8.1. Armadura longitudinal

Área de aço necessária: 40,81 cm²

Utilizando barras de 25 mm (A = 4,91 cm²):

Número de barras = 40,81 / 4,91 = 8,31 ≈ 9 barras

Área de aço efetiva = 9 × 4,91 = 44,19 cm²

Espaçamento entre barras:

e = (bw - 2c - 2φt - 9φl) / 8 = (500 - 2×50 - 2×10 - 9×25) / 8 = 31,25 mm > 20 mm, ok.

8.2. Armadura transversal

Asw/s = 1,87 cm²/m

Utilizando estribos de 2 ramos com φ 10 mm (A = 1,57 cm²):

s = 1,57 / 1,87 = 0,84 m

Adotando s = 20 cm:

Asw/s efetivo = 1,57 / 0,20 = 7,85 cm²/m > 1,87 cm²/m, ok.

9. Cálculo do Comprimento de Ancoragem nos Blocos de Fundação

9.1. Comprimento de ancoragem básico (lb)

lb = φ × fyd / (4 × fbd)

Onde:

Adib Jose Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

$f_{bd} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times f_{ctd}$

$\eta_1 = 2,25$ (barras nervuradas)

$\eta_2 = 1,0$ (boa aderência)

$\eta_3 = 1,0$ ($\varphi < 32$ mm)

$f_{ctd} = 0,7 \times f_{ct,m} / \gamma_c = 0,7 \times 3,51 / 1,4 = 1,755$ MPa

$f_{bd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,755 = 3,95$ MPa

$l_b = 25 \times 434,78 / (4 \times 3,95) = 686,7$ mm

9.2. Comprimento de ancoragem necessário ($l_{b,nec}$)

$l_{b,nec} = \alpha \times l_b \times (A_{s,calc} / A_{s,ef}) \geq l_{b,min}$

Onde:

$\alpha = 1,0$ (ancoragem reta)

$A_{s,calc} = 40,81$ cm²

$A_{s,ef} = 44,19$ cm²

$l_{b,min} = \max(0,3l_b, 10\varphi, 100 \text{ mm}) = \max(206 \text{ mm}, 250 \text{ mm}, 100 \text{ mm}) = 250$ mm

$l_{b,nec} = 1,0 \times 686,7 \times (40,81 / 44,19) = 634,3$ mm

Adotar $l_{b,nec} = 640$ mm

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

9.3. Detalhamento da Ancoragem nos Blocos de Fundação

As barras longitudinais devem ser ancoradas nos blocos de fundação com um comprimento de 640 mm, sendo dobradas em gancho se necessário para garantir o comprimento de ancoragem dentro do bloco.

9.4. Verificação da ancoragem no bloco

Assumindo que o bloco de fundação tem altura suficiente para acomodar o comprimento de ancoragem calculado, a ancoragem é considerada adequada.

9.5. Emenda por transpasse

9.5.1. Cálculo do comprimento de transpasse

$l_{0t} = \alpha_6 \times l_{b,nec}$

Onde:

$\alpha_6 = 1,5$ (para 100% das barras emendadas na mesma seção)

$l_{0t} = 1,5 \times 640 = 960$ mm

Adotar $l_{0t} = 1000$ mm

9.6. Dimensionamento de armadura de suspensão

A armadura de suspensão será dimensionada para transferir as reações de apoio da viga para o bloco de fundação.

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

10. Dimensionamento da Emenda por Transpasse

10.1. Comprimento de transpasse (l0t)

Já calculado: l0t = 1000 mm

10.2. Detalhamento da Emenda por Transpasse

As emendas por transpasse devem ser escalonadas ao longo da viga, evitando que todas as barras sejam emendadas na mesma seção. Recomenda-se que no máximo 50% das barras sejam emendadas em uma mesma seção.

11. Dimensionamento da Armadura de Suspensão

11.1. Cálculo da Reação de Apoio

R = Vsd = 2674 kN

11.2. Área de Aço da Armadura de Suspensão

$A_{s,susp} = R / f_{yd} = 2674 \times 10^3 / 434{,}78 = 6150{,}7\ mm^2 = 61{,}51\ cm^2$

11.3. Detalhamento da Armadura de Suspensão

Utilizando barras de 20 mm (A = 3,14 cm²):

Número de barras = 61,51 / 3,14 = 19,59 ≈ 20 barras

Área de aço efetiva = 20 × 3,14 = 62,8 cm²

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

11.4. Distribuição da Armadura de Suspensão

A armadura de suspensão deve ser distribuída ao longo de uma distância igual à altura útil da viga (d) a partir da face do apoio.

Comprimento de distribuição = 2127,5 mm

Espaçamento entre barras:

e = 2127,5 / 20 = 106,4 mm

Adotar espaçamento de 10 cm entre as barras da armadura de suspensão.

11.5. Detalhamento Final

Resumo do detalhamento da viga

11.5.1. Armadura longitudinal

- 9 barras de 25 mm de diâmetro
- Área de aço efetiva: 44,19 cm²
- Espaçamento entre barras: 31,25 mm

11.5.2. Armadura Transversal (estribos):

- Estribos de 2 ramos com 10 mm de diâmetro
- Espaçamento: 20 cm
- Área de aço efetiva: 7,85 cm²/m

11.5.3. Armadura de pele

- Área total: 10,5 cm²

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

- Distribuída em ambas as faces da alma da viga

11.5.4. Armadura de suspensão

- 20 barras de 20 mm de diâmetro
- Área de aço efetiva: 62,8 cm²
- Distribuída ao longo de 2127,5 mm a partir da face do apoio
- Espaçamento entre barras: 10 cm

11.5.5. Ancoragem nos blocos de fundação

- Comprimento de ancoragem necessário: 640 mm
- Barras longitudinais ancoradas nos blocos de fundação, dobradas em gancho se necessário

11.5.6. Emendas por transpasse

- Comprimento de transpasse: 1000 mm
- Emendas escalonadas ao longo da viga
- Recomendação: no máximo 50% das barras emendadas em uma mesma seção

12. Considerações finais

O detalhamento apresentado atende aos requisitos de resistência e às verificações de serviço realizadas na memória de cálculo. A viga de ligação foi dimensionada considerando uma seção transversal de 50 cm x 220 cm e um vão de 8,0 m, com condição de apoio bi-engastada. As armaduras foram calculadas para resistir aos esforços de flexão e cisalhamento, respeitando os limites normativos de fissuração e deformação.

Adib Jose Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

A armadura de suspensão foi dimensionada para transferir adequadamente as reações de apoio para os blocos de fundação. É importante garantir a correta execução das ancoragens e emendas conforme especificado para assegurar o desempenho estrutural previsto em projeto.

Engº Rafael Agenor dos Santos
Gerente
INEA/DIRRAM/GEROSMA
ID: 4373732-2

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib Jose Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.