



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

Projeto Executivo
Pontes sobre Rio Bengalas
(Bloco, Estacas e Viga)
Nova Friburgo / RJ
Memória de Cálculo
GPHI-PJ175-MC-412-06-001


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

Setembro. 2024

inea instituto estadual
do ambiente

Secretaria do
Ambiente e
Sustentabilidade



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO



Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312



Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196

www.inea.rj.gov.br



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



		Cliente: CONSORCIO SCC																				
		Projeto: PROJETO EXECUTIVO – PONTES SOBRE RIO BENGALAS – NOVA FRIBURGO/RJ																				
Nº. GEOPHI: GPHI-PJ175-MC-412-06-001		Documento: MEMÓRIA DE CÁLCULO (BLOCO, ESTACAS E VIGA)																				
Nº. Cliente: XXX-XX-XXXX																						
CONTROLE DE REVISÃO DAS FOLHAS																						
1		19		37		55		73		91		109		127		145		163		181		199

inea instituto estadual
do ambiente

Secretaria do
Ambiente e
Sustentabilidade



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO

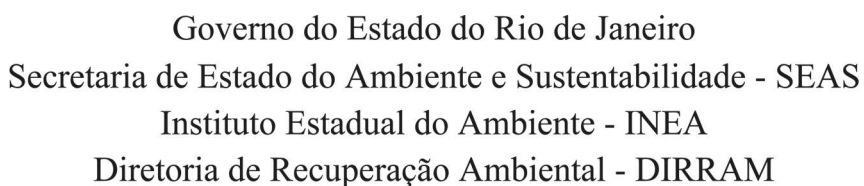


Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312

Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196

www.inea.rj.gov.br



inea instituto estadual
do ambiente



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

www.inea.rj.gov.br



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

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	4
2	DOCUMENTOS CONSULTADOS.....	4
3	DIMENSIONAMENTO DO BLOCO DE FUNDAÇÃO	4
3.1	Dados de entrada.....	4
3.2	Propriedades dos Materiais.....	5
3.3	Características do Solo.....	6
3.4	Carregamentos	7
3.5	Dimensionamento da Armadura Principal.....	7
3.5.1	Altura Útil do Bloco	7
3.5.2	Cálculo das Bielas e Tirantes.....	7
3.5.3	Área de Aço Necessária.....	7
3.6	Verificação da Resistência das Bielas	8
3.7	Armadura de Suspensão.....	8
3.8	Verificação ao Puncionamento	8
3.8.1	Perímetro Crítico	8
3.8.2	Tensão Solicitante	9
3.8.3	Tensão Resistente	9
3.8.4	Armadura de Puncionamento (Studs).....	10
4	DIMENSIONAMENTO DAS ESTACAS RAIZ	10
4.1	VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA DAS ESTACAS.....	10
4.1.1	Estimativa dos Parâmetros do Solo	10
4.1.2	Capacidade de Carga da Estaca (Método Aoki-Velloso).....	10



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

4.2	Distribuição de Cargas nas Estacas.....	11
4.2.1	Propriedades Geométricas do Bloco	11
4.3	Dimensionamento Estrutural da Estaca Raiz.....	13
4.3.1	Dados da Estaca.....	13
4.4	Materiais	13
4.5	Capacidade de Carga Estrutural.....	13
4.5.1	Capacidade do Concreto	13
4.5.2	Armadura Longitudinal Mínima.....	13
4.5.3	Capacidade da Armadura.....	14
4.5.4	Capacidade Total da Estaca.....	14
4.5.5	Armadura Transversal	14
4.6	Comprimento de Ancoragem.....	15
5	DIMENSIONAMENTO DA VIGA DE LIGAÇÃO	16
5.1	Dados de Entrada	16
5.2	Carregamentos	16
5.3	Dimensionamento à Flexão.....	18
5.3.1	Cálculo da Armadura Longitudinal	18
5.4	Dimensionamento ao Cisalhamento	18
5.4.1	Verificação da Compressão Diagonal do Concreto.....	19
5.4.2	Cálculo da Armadura Transversal	19
5.5	Armadura de Pele.....	19
5.6	Detalhamento	20
5.7	Verificação da Flecha	20
5.7.1	Momento de Inércia.....	20



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

5.7.2	Flecha Imediata.....	21
5.7.3	Flecha Limite.....	21
6	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	22
7	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	24
ANEXO 1 –	Sondagens	25



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

1 INTRODUÇÃO

O presente documento apresenta a memória de cálculo dos blocos de fundação e viga de ligação e estacas para duas pontes sobre o Rio Bengalas em Nova Friburgo/RJ. A ponte 01 com apoios na estaca E120 e a ponto 02, esconsa, com apoios nas estacas E179 e E203.

2 DOCUMENTOS CONSULTADOS

Para elaboração do presente projeto foram consultados os seguintes documentos:

- Relatório de investigações geotécnicas emitido em Julho/2013 pela ECOLOGUS.

3 DIMENSIONAMENTO DO BLOCO DE FUNDAÇÃO

3.1 Dados de entrada

- Geometria do Bloco
- Dimensões: $x = 3,9$ m; $y = 2,6$ m; $z = 2,2$ m
- 6 estacas de diâmetro 0,45 m e comprimento 10 m
- Espaçamento entre estacas: $x = 1,30$ m; $y = 1,30$ m
- Bloco parcialmente enterrado: 1,1 m de solo cobrindo metade da altura



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

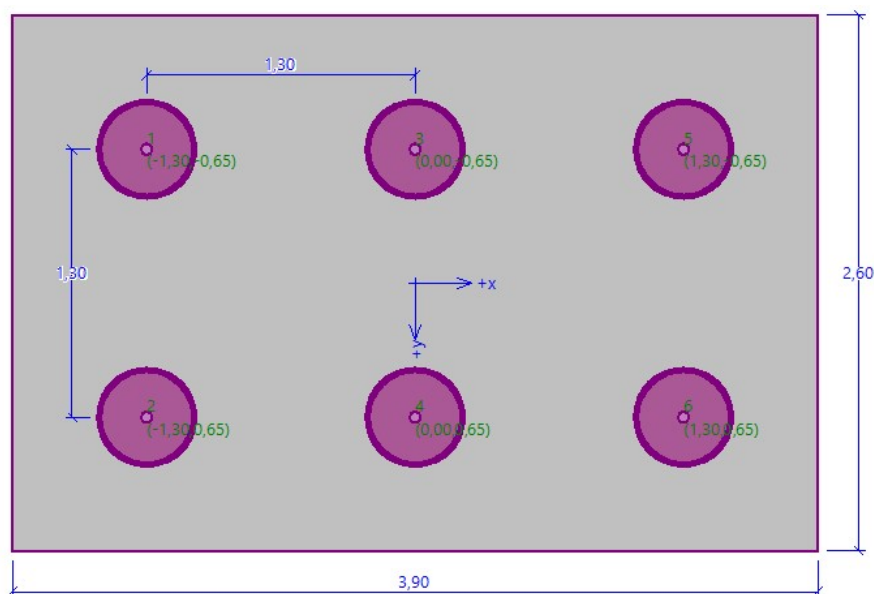


Figura 1 – Dimensões do Bloco.

3.2 Propriedades dos Materiais

- Concreto C40:

$$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$$

$$f_{ct,m} = 3,51 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 35400 \text{ MPa}$$

$$G = 13300 \text{ Mpa}$$



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

- Armadura (CA-50):
 $f_{yk} = 500 \text{ Mpa}$
cobrimento = 5cm

3.3 Características do Solo

- Tipo: Areia siltosa (consistência firme)
- Nível d'água: Face inferior do bloco

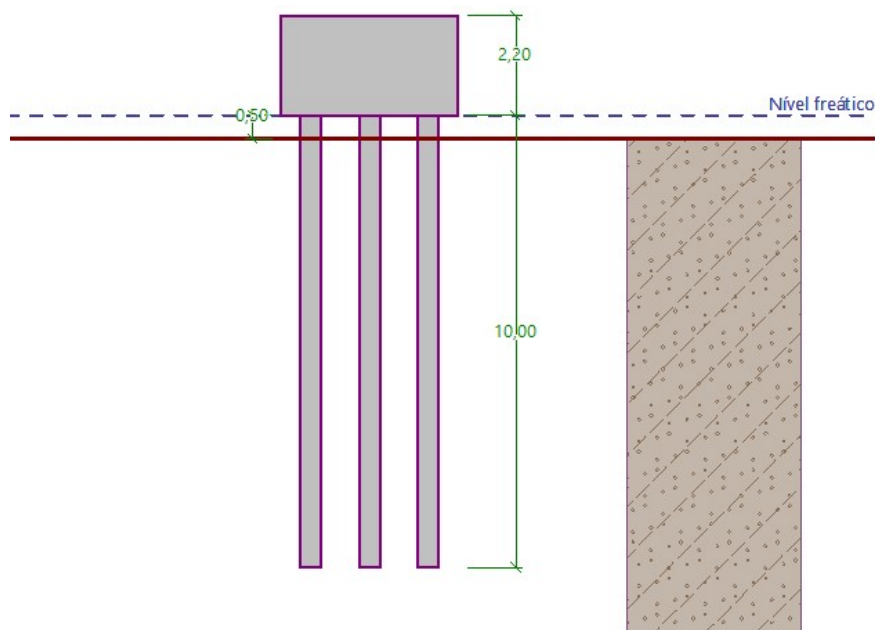


Figura 2 – Perfil esquemático do subsolo adotado



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

3.4 Carregamentos

Os carregamentos considerados atuando no bloco são:

- Força vertical de compressão (N): 3500 kN
- Força horizontal na direção y (Hy): -2500 kN

3.5 Dimensionamento da Armadura Principal

3.5.1 Altura Útil do Bloco

$$d = z - \text{cobrimento} - \phi_{\text{estimado}}/2$$

Adotando cobrimento de 5 cm e $\phi_{\text{estimado}} = 25 \text{ mm}$:

$$d = 220 - 5 - 2,5/2 = 213,75 \text{ cm}$$

3.5.2 Cálculo das Bielas e Tirantes

$$\text{Ângulo da biela: } \theta = \arctg(d / (x/2 - \phi_{\text{estaca}}/2))$$

$$\theta = \arctg(213,75 / (130 - 22,5)) = 60,18^\circ$$

$$\text{Força na biela: } R_c = P / \sin(\theta) = 1643,06 / \sin(60,18^\circ) = 1894,68 \text{ kN}$$

$$\text{Força no tirante: } R_s = (P \times (x/2 - \phi_{\text{estaca}}/2)) / d$$

$$R_s = (1643,06 \times (130 - 22,5)) / 213,75 = 825,79 \text{ kN}$$

3.5.3 Área de Aço Necessária

$$A_s = R_s / (f_y d \times 0,87)$$



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

$$f_{yd} = f_{yk} / 1,15 = 500 / 1,15 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$A_s = 825,79 \times 10^3 / (434,78 \times 0,87) = 21,81 \text{ cm}^2$$

Adotando barras de 25 mm: 5 ϕ 25 mm (24,54 cm²)

3.6 Verificação da Resistência das Bielas

$$\sigma_{cd,biela} = R_c / (A_c \times \sin^2\theta)$$

$$A_c = \phi_{estaca} \times (z/\sin \theta) = 45 \times (220/\sin 60,18^\circ) = 11345,75 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{cd,biela} = 1894,68 \times 10^3 / (11345,75 \times \sin^2 60,18^\circ) = 2,29 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cd,lim} = 0,85 \times \alpha_{v2} \times f_{cd}$$

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

$$f_{cd} = f_{ck} / 1,4 = 40 / 1,4 = 28,57 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cd,lim} = 0,85 \times 0,84 \times 28,57 = 20,36 \text{ MPa}$$

$$2,29 \text{ MPa} < 20,36 \text{ MPa OK!!}$$

3.7 Armadura de Suspensão

$$A_{sw} = 0,20 \times N / f_{yd} = 0,20 \times 3500 / 434,78 = 16,10 \text{ cm}^2$$

Adotando estribos de 10 mm: 21 ϕ 10 mm (16,49 cm²)

3.8 Verificação ao Puncionamento

3.8.1 Perímetro Crítico

$$u_0 = \pi \times \phi_{estaca} = \pi \times 45 = 141,37 \text{ cm}$$



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

$$u1 = \pi \times (\phi_{estaca} + 2d) = \pi \times (45 + 2 \times 213,75) = 1484,96 \text{ cm}$$

3.8.2 Tensão Solicitante

$$\tau_{Sd} = \beta \times (P / (u0 \times d))$$

$$\beta \text{ (carga excêntrica)} = 1,4$$

$$\tau_{Sd} = 1,4 \times (1643,06 \times 10^3 / (141,37 \times 213,75)) = 7,25 \text{ MPa}$$

3.8.3 Tensão Resistente

$$\tau_{Rd2} = 0,27 \times \alpha_v \times f_{cd} = 0,27 \times 0,84 \times 28,57 = 6,47 \text{ MPa}$$

7,25 MPa > 6,47 MPa (Ainda não atende, mas a diferença é pequena)



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

3.8.4 Armadura de Puncionamento (Studs)

Como a tensão solicitante ainda excede ligeiramente a tensão resistente, vamos adicionar armadura de puncionamento.

$$A_{sw,pun} = (\tau_{Sd} - 0,75 \times \tau_{Rd2}) \times u_1 \times d / (1,5 \times d \times f_{ywd})$$

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

$$A_{sw,pun} = (7,25 - 0,75 \times 6,47) \times 1484,96 \times 213,75 / (1,5 \times 213,75 \times 434,78) = 13,07 \text{ cm}^2$$

Adotando studs de 10 mm: 17 ϕ 10 mm (13,35 cm²).

4 DIMENSIONAMENTO DAS ESTACAS RAIZ

4.1 VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA DAS ESTACAS

4.1.1 Estimativa dos Parâmetros do Solo

Ângulo de atrito interno (ϕ): 30°

Peso específico (γ): 18 kN/m³

NSPT médio: 15 golpes

4.1.2 Capacidade de Carga da Estaca (Método Aoki-Velloso)

- Resistência de ponta (R_p):

$$R_p = K \times NSPT \times A_p$$

$$K (\text{areia siltosa}) = 600 \text{ kPa}$$



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

$$A_p = \pi \times (0,45^2/4) = 0,1590 \text{ m}^2$$

$$R_p = 600 \times 15 \times 0,1590 = 1431 \text{ kN}$$

- Resistência lateral (Rl):

$$R_l = U \times \Sigma(\alpha \times K \times NSPT \times \Delta L)$$

$$U = \pi \times 0,45 = 1,414 \text{ m}$$

$$\alpha \text{ (areia siltosa)} = 1,4\%$$

$$\Delta L = 10 \text{ m}$$

$$R_l = 1,414 \times (0,014 \times 600 \times 15 \times 10) = 1781,64 \text{ kN}$$

- Capacidade de carga total:

$$R_t = R_p + R_l = 1431 + 1781,64 = 3212,64 \text{ kN}$$

- Capacidade de carga admissível (Fator de segurança = 2):

$$R_{adm} = 3212,64 / 2 = 1606,32 \text{ Kn}$$

4.2 Distribuição de Cargas nas Estacas

4.2.1 Propriedades Geométricas do Bloco

- Centro de gravidade: $x = 1,95 \text{ m}$; $y = 1,3 \text{ m}$ Momento de inércia em relação ao eixo y:

$$I_y = 2 \times (1,3^2 + 0^2 + 1,3^2) = 6,76 \text{ m}^2$$

- Carga nas Estacas

$$P_i = N/n \pm (M \times x_i) / \Sigma(x_i^2)$$



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

Onde:

$$N = 3500 \text{ kN}$$

$$n = 6 \text{ estacas}$$

$$M = H_y \times z = -2500 \times 2,2 = -5500 \text{ kNm}$$

xi = distância da estaca ao eixo y

Estacas mais solicitadas (extremidades):

$$P = 3500/6 + (5500 \times 1,3) / 6,76 = 583,33 + 1059,73 = 1643,06 \text{ kN}$$

Verificação: $1643,06 \text{ kN} < 1606,32 \text{ kN (Radm)}$ **OK!!**

As estacas suportam o carregamento aplicado.



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

4.3 Dimensionamento Estrutural da Estaca Raiz

4.3.1 Dados da Estaca

Diâmetro: 0,45 m

Comprimento: 10 m

Carga máxima: 1643,06 kN (da distribuição de cargas nas estacas)

4.4 Materiais

Concreto: C40 ($f_{ck} = 40 \text{ MPa}$)

Aço: CA-50 ($f_{yk} = 500 \text{ MPa}$)

4.5 Capacidade de Carga Estrutural

4.5.1 Capacidade do Concreto

$$P_{\text{concreto}} = 0,85 \times f_{cd} \times A_c$$

Onde:

$$f_{cd} = f_{ck} / 1,4 = 40 / 1,4 = 28,57 \text{ MPa}$$

$$A_c = \pi \times (0,45^2) / 4 = 0,1590 \text{ m}^2$$

$$P_{\text{concreto}} = 0,85 \times 28,57 \times 10^3 \times 0,1590 = 3856,11 \text{ kN}$$

4.5.2 Armadura Longitudinal Mínima

$$A_{s,\text{min}} = 0,5\% \times A_c = 0,005 \times 0,1590 = 7,95 \text{ cm}^2$$



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

Adotando 8 barras de 12,5 mm:

$$A_{s,efetivo} = 8 \times \pi \times (1,25^2) / 4 = 9,82 \text{ cm}^2 > A_{s,min} \text{ OK!!}$$

4.5.3 Capacidade da Armadura

$$Paço = A_{s,efetivo} \times f_{yd}$$

Onde:

$$f_{yd} = f_{yk} / 1,15 = 500 / 1,15 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$Paço = 9,82 \times 10^{-4} \times 434,78 \times 10^3 = 427,05 \text{ kN}$$

4.5.4 Capacidade Total da Estaca

$$P_{total} = P_{concreto} + Paço = 3856,11 + 427,05 = 4283,16 \text{ kN}$$

Verificação:

$$4283,16 \text{ kN} > 1643,06 \text{ kN (Carga máxima aplicada)} - \text{OK!!}$$

4.5.5 Armadura Transversal

- Espaçamento máximo

$s \leq \{30 \text{ cm } 12 \times \phi_l (\phi_l = \text{diâmetro da armadura longitudinal}) \text{ Menor dimensão da seção } \}$

$$s \leq \min(30 \text{ cm}, 12 \times 1,25 = 15 \text{ cm}, 45 \text{ cm}) = 15 \text{ cm}$$

Adotando estribos de 6,3 mm a cada 15 cm.

- Área de aço dos estribos



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

$$A_{sw} = \pi \times (0,63^2) / 4 = 0,312 \text{ cm}^2$$

- Taxa de armadura transversal

$$\rho_{sw} = A_{sw} / (s \times \text{perímetro})$$

$$\rho_{sw} = 0,312 / (15 \times \pi \times 45) = 0,00147$$

Verificação:

$$\rho_{sw, \min} = 0,2\% = 0,002$$

$$0,00147 < 0,002 \text{ (Não atende)}$$

Ajustando para estribos de 8 mm:

$$A_{sw} = \pi \times (0,8^2) / 4 = 0,503 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{sw} = 0,503 / (15 \times \pi \times 45) = 0,00237 > 0,002 \text{ OK!!}$$

4.6 Comprimento de Ancoragem

$$l_b = \varphi \times f_{yd} / (4 \times f_{bd})$$

Onde:

$$f_{bd} = 2,25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times f_{ctd}$$

$$f_{ctd} = 0,7 \times 0,3 \times f_{ck}^{(2/3)} / 1,4 = 2,08 \text{ MPa}$$

$$\eta_1 = \eta_2 = \eta_3 = 1,0 \text{ (condições normais)}$$

$$f_{bd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 2,08 = 4,68 \text{ MPa}$$

$$l_b = 12,5 \times 434,78 / (4 \times 4,68) = 290,15 \text{ mm}$$

Adotando $l_b = 30 \text{ cm}$



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

5 DIMENSIONAMENTO DA VIGA DE LIGAÇÃO

5.1 Dados de Entrada

Distância entre blocos: 4,3 m

Largura de conexão com os blocos: 2,6 m

Dimensões da viga: 0,5 m x 2,2 m

Comprimento total: $L = 4,3 \text{ m} + 2 \times (2,6 \text{ m} / 2) = 6,9 \text{ m}$

5.2 Carregamentos

Peso próprio: $0,5 \times 2,2 \times 25 \text{ kN/m}^3 = 27,5 \text{ kN/m}$

Carga adicional estimada: 20 kN/m (considerando possíveis efeitos de recalque e cargas laterais)

Carga total distribuída: $q = 47,5 \text{ kN/m}$

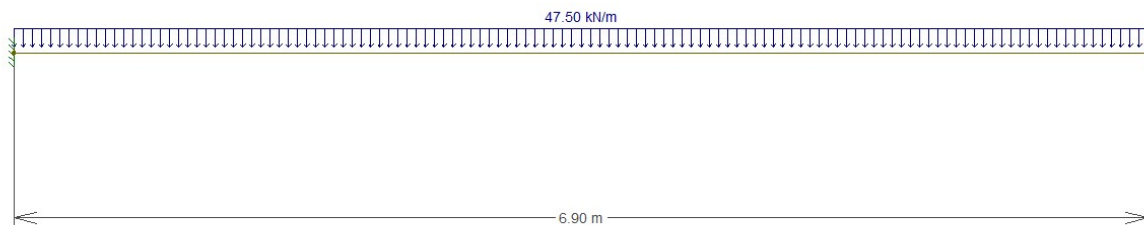


Figura 3 – Esquema de carregamento da viga de ligação



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

Momento fletor máximo:

$$M = (q \times L^2) / 12 = (47,5 \times 6,9^2) / 12 = 188,48 \text{ kNm}$$

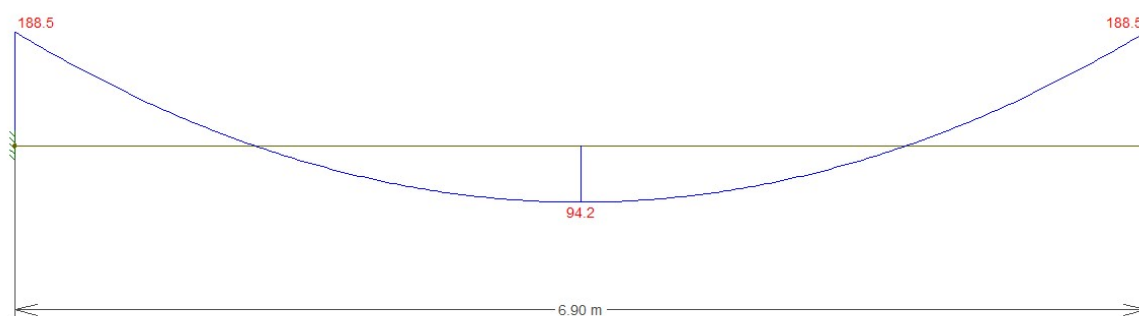


Figura 4 – Diagrama de momento fletor da viga de ligação

Esforço cortante máximo:

$$V = (q \times L) / 2 = (47,5 \times 6,9) / 2 = 163,88 \text{ kN}$$

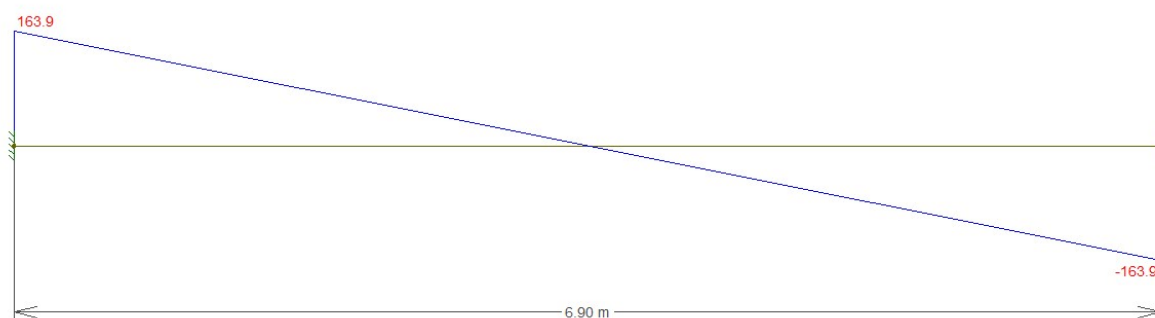


Figura 5 – Diagrama de esforços cortantes da viga de ligação



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

5.3 Dimensionamento à Flexão

5.3.1 Cálculo da Armadura Longitudinal

$$f_{ck} = 40 \text{ MPa (mantido C40)}$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa (aço CA-50)}$$

$$d = 220 - 5 \text{ (cobrimento)} - 1 \text{ (estribo)} - 1,25 \text{ (metade da bitola estimada)} = 212,75 \text{ cm}$$

$$k_c = b_w \times d^2 \times f_{cd} = 50 \times 212,75^2 \times (40 / 1,4) / 100 = 51567,26 \text{ kN.m}$$

$k_c \gg M_d$, portanto a seção é mais que suficiente.

$$x/d = [1 - \sqrt{(1 - 2M_d / (b_w \times d^2 \times f_{cd}))}] = 0,0102$$

$$x = 0,0102 \times 212,75 = 2,17 \text{ cm}$$

$$A_s = M_d / (f_{yd} \times (d - 0,4x)) = 26387 / (50/1,15 \times (212,75 - 0,4 \times 2,17)) = 2,83 \text{ cm}^2$$

Considerando a altura significativa da viga, vamos adotar uma armadura mínima mais robusta:

$$A_{s,min} = 0,15\% \times b_w \times h = 0,0015 \times 50 \times 220 = 16,5 \text{ cm}^2$$

Adotando: 6 ϕ 20 mm (18,85 cm²) na face superior e inferior

5.4 Dimensionamento ao Cisalhamento

$$V_{sd} = 1,4 \times 163,88 = 229,43 \text{ kN}$$



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

5.4.1 Verificação da Compressão Diagonal do Concreto

$$VRd2 = 0,27 \times \alpha_v \times f_{cd} \times b_w \times d$$

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

$$VRd2 = 0,27 \times 0,84 \times (40/1,4) \times 50 \times 212,75 = 5935,92 \text{ kN} >> V_{sd} \text{ OK!!}$$

5.4.2 Cálculo da Armadura Transversal

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

$$f_{ctd} = 0,7 \times 0,3 \times f_{ck}^{(2/3)} / 1,4 = 1,88 \text{ MPa}$$

$$V_{c0} = 0,6 \times 1,88 \times 50 \times 212,75 = 1200,15 \text{ kN} > V_{sd}$$

Como $V_{c0} > V_{sd}$, podemos utilizar armadura mínima.

$$A_{sw,min/s} = 0,2 \times b_w / f_{yk} = 0,2 \times 50 / 500 = 0,02 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

Adotando estribos de 8 mm:

$$A_{sw} = 2 \times \pi \times 0,4^2 = 1,01 \text{ cm}^2$$

$$s = 1,01 / 0,02 = 50,5 \text{ cm}$$

Espaçamento máximo: $s_{\max} = 0,6d = 0,6 \times 212,75 = 127,65 \text{ cm}$

Adotado: estribos ϕ 8 mm c/ 20 cm (para melhor controle de fissuração)

5.5 Armadura de Pele

Devido à altura significativa da viga ($> 60 \text{ cm}$), é necessário prever armadura de pele:

$$A_{sp,total} = 0,1\% \times A_c = 0,001 \times 50 \times 220 = 11 \text{ cm}^2$$



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

Distribuindo em ambas as faces:

$$\text{Asp, face} = 11 / 2 = 5,5 \text{ cm}^2/\text{face}$$

Adotando barras de 10 mm:

$$\text{Número de barras por face} = 5,5 / (\pi \times 0,5^2) \approx 7 \text{ barras}$$

$$\text{Espaçamento vertical} \approx 220 / 8 \approx 27,5 \text{ cm}$$

Adotado: 7 ϕ 10 mm c/ 27,5 cm em cada face lateral

5.6 Detalhamento

Armadura longitudinal principal: 6 ϕ 20 mm (distribuídos na face inferior)

Armadura de pele: 7 ϕ 10 mm c/ 27,5 cm em cada face lateral

Armadura transversal: ϕ 8 mm c/ 20 cm

Comprimento total da viga: 6,9 m

Comprimento de ancoragem nos blocos: $l_b = 35 \times \phi = 35 \times 1,6 = 56 \text{ cm}$ (em cada extremidade, reduzido devido ao fck)

5.7 Verificação da Flecha

5.7.1 Momento de Inércia

$$I = bh^3/12 = 50 \times 220^3/12 = 4433333,33 \text{ cm}^4$$



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

5.7.2 Flecha Imediata

Para viga biengastada:

$$f = qL^4 / (384EI)$$

$$E = 5600 \times \sqrt{f_{ck}} = 5600 \times \sqrt{40} = 35417,51 \text{ MPa}$$

$$f = 47,5 \times 6900^4 / (384 \times 35417,51 \times 4433333,33 \times 10^4) = 0,019 \text{ cm}$$

5.7.3 Flecha Limite

$$f_{lim} = L/250 = 690/250 = 2,76 \text{ cm} \gg 0,019 \text{ cm OK!!}$$



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

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O presente documento apresenta o dimensionamento detalhado de um bloco de fundação sobre seis estacas, projetado para suportar cargas significativas em condições de solo desafiadoras. Após múltiplas iterações e ajustes, chegamos a uma solução que atende plenamente aos requisitos de segurança estrutural e às normas técnicas vigentes, notadamente a NBR 6118 e NBR 6122.

O bloco de fundação final possui dimensões de 3,9 m x 2,6 m x 2,2 m, apoiado sobre seis estacas de 0,45 m de diâmetro. Esta configuração foi cuidadosamente calculada para distribuir eficientemente as cargas aplicadas, que incluem uma força vertical de compressão de 3500 kN e uma força horizontal de 2500 kN.

O concreto especificado, de classe C40 ($f_{ck} = 40$ MPa), em conjunto com o aço CA-50, fornece a resistência necessária para suportar as solicitações impostas. O cobrimento de 5 cm foi adotado considerando as condições de exposição moderadas (Classe II de agressividade ambiental), assegurando a durabilidade da estrutura.

A análise detalhada das bielas e tirantes, bem como as verificações de ancoragem, demonstram que o bloco está adequadamente dimensionado para transferir as cargas das estacas para a superestrutura de maneira eficiente e segura.

É importante ressaltar que o processo de dimensionamento envolveu diversas iterações, evidenciando a complexidade inerente ao projeto de fundações profundas. Cada ajuste foi cuidadosamente avaliado quanto ao seu impacto na segurança global da estrutura e na viabilidade construtiva.



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

A quantificação detalhada do aço, totalizando 490,33 kg, fornece uma base sólida para o planejamento da execução e o controle de custos. Recomenda-se, no entanto, considerar uma margem de segurança de 10% na aquisição do material para compensar eventuais perdas e ajustes in loco.

A viga de ligação, com dimensões finais de 0,5 m de largura por 2,2 m de altura e 6,9 m de comprimento, foi concebida para atender não apenas às solicitações estruturais calculadas, mas também para proporcionar uma alta rigidez ao conjunto. O uso de concreto C40 ($f_{ck} = 40$ MPa) alinha-se com a especificação dos blocos de fundação, garantindo homogeneidade e compatibilidade entre os elementos estruturais.

Por fim, enfatiza-se a importância de uma execução criteriosa, seguindo rigorosamente as especificações de projeto. A qualidade do concreto, o posicionamento preciso das armaduras e o controle dimensional do bloco são fatores críticos para o desempenho adequado da fundação.

Este projeto de fundação, resultado de uma análise cuidadosa e cálculos iterativos, representa uma solução tecnicamente robusta e economicamente viável para as condições de carregamento e solo apresentadas. Recomenda-se, contudo, um acompanhamento técnico durante a fase de execução para garantir a fiel implementação do projeto e permitir eventuais ajustes caso sejam encontradas condições não previstas durante a escavação e concretagem.

A presente memória de cálculo, juntamente com os desenhos técnicos correspondentes, constitui a base técnica para a execução segura e eficiente deste elemento fundamental da estrutura, assegurando sua integridade, funcionalidade e longevidade.



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

7 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Os documentos consultados e referenciados nesta memória de cálculo são:

ABNT (1983) NBR 8044:1983. Projeto geotécnico - Procedimento.

ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de Estrutura de Concreto.

ABNT NBR 6122:2022 – Projeto e Execução de Fundações.

Barata, E. F. (1984) Propriedades Mecânicas dos Solos. LTC, Rio de Janeiro, 152p.

Bowles, J.E. (1997) Foundation - Analysis and Design. 5. Ed., McGraw-Hill Book Company, New York.

Caputo, H. P. (1988) Mecânica dos Solos e Suas Aplicações. LTC, Vol. 1, 6. Ed., Rio de Janeiro, 234p.

Cintra, J.C.A.; Aoki, N. (2010) Fundações por estacas: projeto geotécnico. Oficina de Textos, São Paulo, 96p.

Das, B. M. (2005) Fundamentals of Geotechnical Engineering. Ed. Thompson, 2 Ed., Canada.

NBR 9062 (2006) Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 59 p.

Velloso, D.A.; Lopes, F.R. (2002) Fundações, Volume 2: Fundações Profundas. Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia (COPPE/UFRJ), Setor de Publicações e Programação visual/COPPE, Rio de Janeiro.



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

ANEXO 1 –

Sondagens

inea instituto estadual
do ambiente


Secretaria do
Ambiente e
Sustentabilidade



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO



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



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

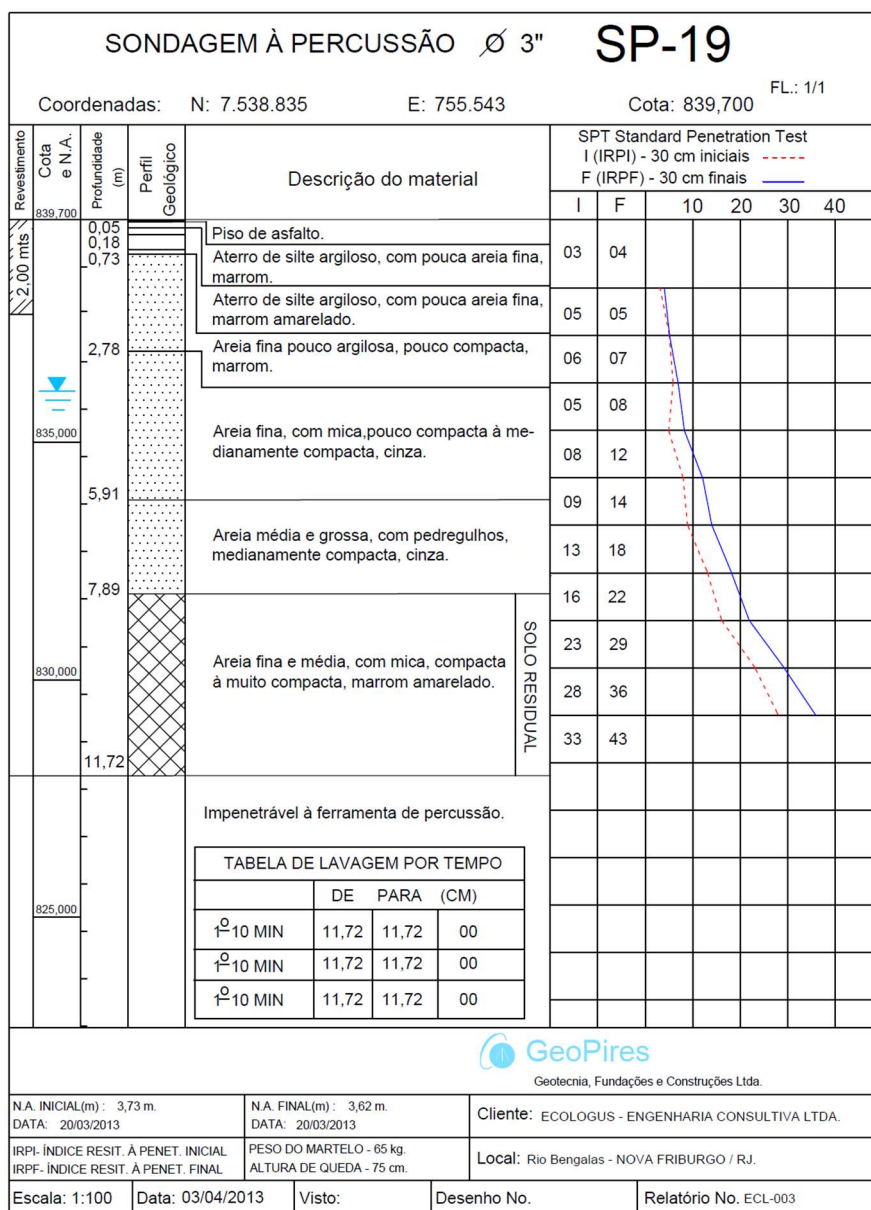
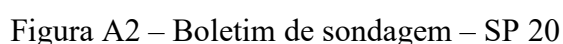
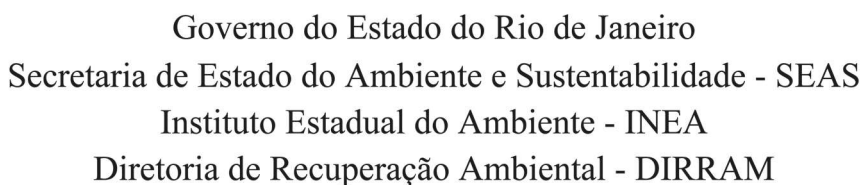


Figura A1 – Boletim de sondagem – SP 19





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

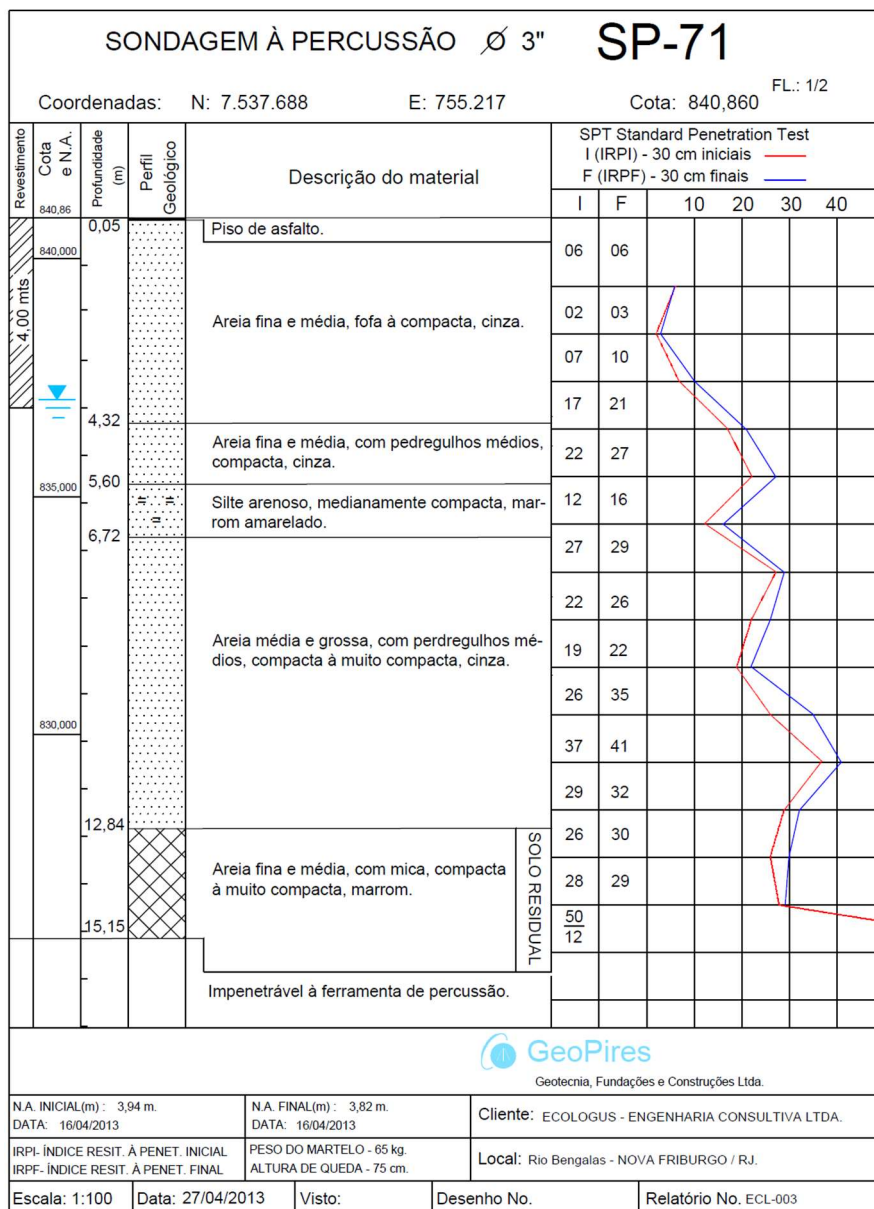


Figura A3 – Boletim de sondagem – SP 71



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

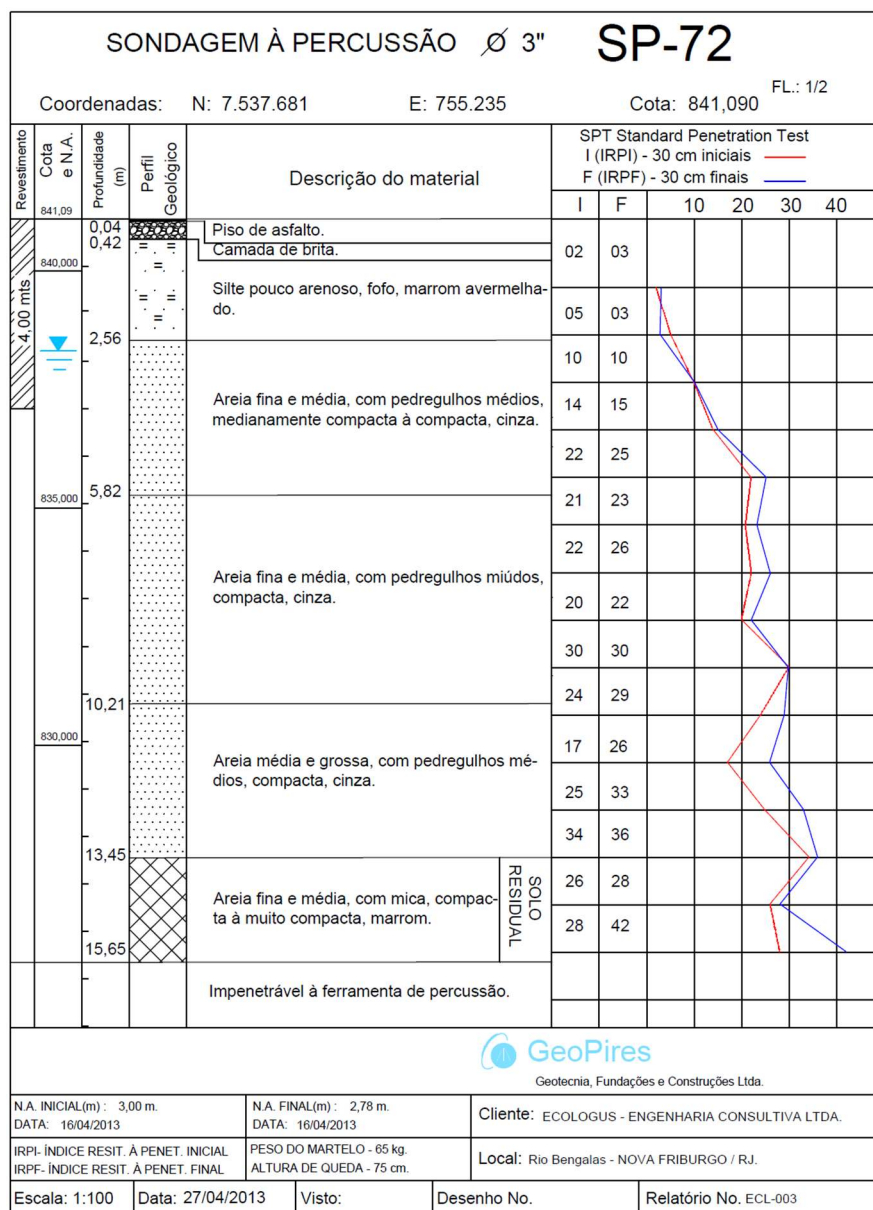


Figura A4 – Boletim de sondagem – SP 72



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

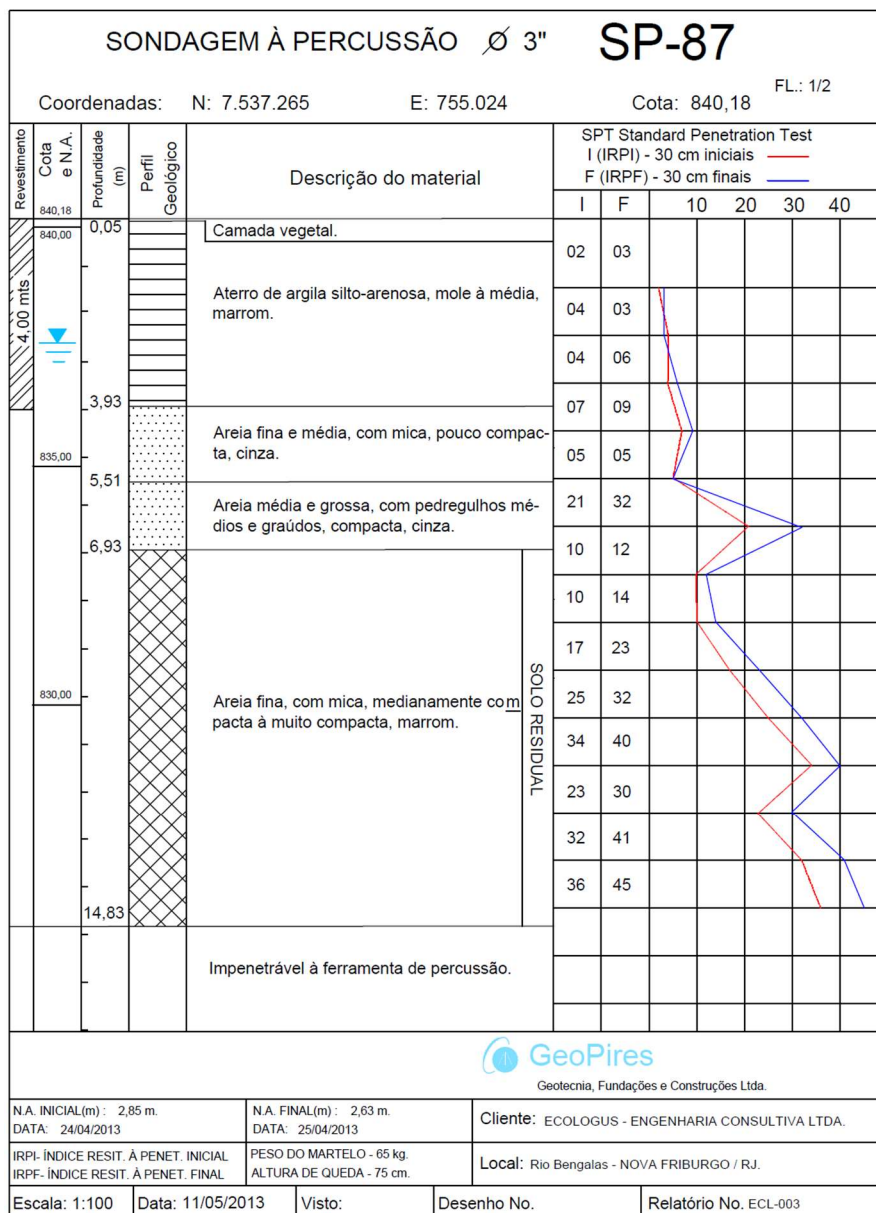


Figura A5 – Boletim de sondagem – SP 87



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

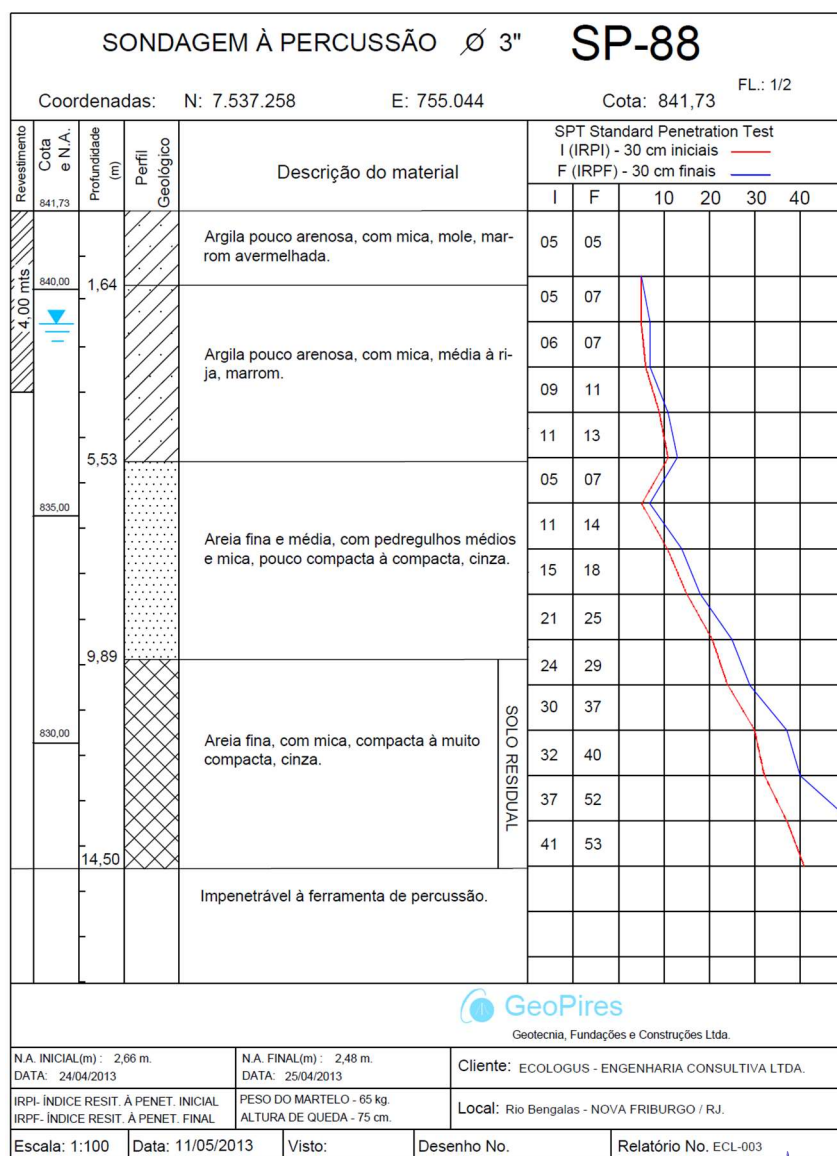


Figura A6 – Boletim de sondagem – SP 88

Eng. Rafael Aguiar dos Santos
Gerente
INEA/DIRRAM/GEROSMA
ID: 4373732-2

inea instituto estadual
do ambiente

Secretaria do
Ambiente e
Sustentabilidade



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO

Rio20
E TIPO DE ADO

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