

## ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE UM ATERRO SOBRE SOLO MOLE COM ESTACAS “ALLUVIAL ANKER” – ESTUDO DE CASO

Lucas Richardt Bin(1), Adailton Antônio dos Santos(2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1)[bin@unesc.net](mailto:bin@unesc.net), (2)[adailton@unesc.net](mailto:adailton@unesc.net)

### RESUMO

O projeto de aterros sobre solos moles requer soluções econômicas, de fácil aplicação, que garanta a sua estabilidade, quanto à ruptura global, e que mantenha os recalques pós-construtivos, dentro de limites aceitáveis, como recomenda a DNER-PRO 381/98. Visando atender estes objetivos, o presente trabalho apresenta uma alternativa de solução a ser empregada na construção de um aterro sobre o solo mole, situado no trecho entre o km 22+200 e o km 24+400 do Lote 29 da BR 101, trecho Sul, em que se apoia o mesmo sobre estacas tipo “Alluvial Anker”. A caracterização geotécnica do solo de fundação da área, objeto de estudo, foi feita com base nos boletins de sondagem disponibilizados pelo Consórcio Construcap-Modern-Ferreira Guedes, os quais permitiram definir o perfil estratigráfico estimado da referida área. A determinação dos parâmetros geotécnicos do solo de fundação foi realizada por meio de correlação com o NSPT e de valores de “ $c_u$ ”, obtidos por Cerutti (2011), através de ensaios de compressão simples. De posse dos parâmetros geotécnicos do solo de fundação desenvolveu-se o dimensionamento geotécnico e estrutural das estacas tipo “Alluvial Anker”. No dimensionamento geotécnico adotaram-se os métodos de Jopert Júnior (2004) e Costa Nunes (1978), e no dimensionamento estrutural empregou-se o método de Hachich (et. al. 1998). E por fim, foi feita a comparação entre os custos de implantação da solução proposta pelo DNIT, do Elevado, e do Cerutti (2011), de um aterro com núcleo de EPS, associada a bermas de equilíbrio e a proposta do presente trabalho. Os estudos realizados permitem concluir que o método de Costa Nunes (1978) é muito conservador, ou seja, apresenta comprimento de estaca 48,14%, superior ao obtido pelo método de Joppert Junior (2004), método este, que mais se aproxima dos valores obtidos no dimensionamento realizado pela empresa Solotrat Engenharia Ltda, para obra de pavimentação da Interseção DF-079 (EPVT)/DF-085 (EPTG). A análise comparativa dos custos de implantação, das soluções constantes no presente trabalho, demonstra que a solução de aterro apoiado sobre estacas, tipo “Alluvial Anker” é 34,39% mais onerosa que a proposta de Cerutti (2011), e 18,15% mais econômica que a do DNIT. No entanto, a solução em aterro estaqueado é mais difundida e aceita no meio técnico, que a de aterro com núcleo de EPS, tornando-a assim a solução proposta a alternativa mais confiável.

Palavras Chave: “Alluvial Anker”, Aterros Sobre Solos Moles, Aterro Estaqueado, Joppert Júnior

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento da construção civil no Brasil, entre 2009 e 2010, segundo o Dieese foi de 11,60%, e a tendência para os próximos anos é de um crescimento ainda maior. Esta afirmativa está fundamentada no crescimento econômico do país nos últimos anos, e nos investimentos aplicados para a execução das obras da Copa do Mundo de 2014 e das olimpíadas de 2016.

Cabe ressaltar que o crescimento econômico de um país depende de uma infraestrutura (aeroportos, portos e estradas) adequada, para o escoamento da produção. Logo, torna-se cada vez mais necessária a criação de novas tecnologias, que agilizem e otimizem a implantação dessa infraestrutura, na qual se destaca as obras de duplicação da BR 101, uma das mais importantes vias de escoamento da produção do país.

A BR 101, em grande parte sua extensão, encontra-se situada em regiões de ocorrência de solos moles, destacando-se o trecho localizado na região sul de Santa Catarina, e em particular, a área objeto de estudo deste trabalho. Portanto, o projeto executivo da BR 101, nestas regiões deve contemplar soluções econômicas, de fácil aplicação, que garanta a estabilidade, quanto à ruptura global e a manutenção dos recalques pós-construtivos, dentro de limites aceitáveis, como recomenda a DNER-PRO 381/98. Visando atender estes objetivos, o presente trabalho apresenta uma alternativa de solução a ser empregada, na construção de aterros sobre solos moles, apoiando-os sobre estacas tipo “Alluvial Anker”, já que as mesmas tem se mostrado mais eficientes, quando comparadas às pré-moldadas de concreto, que é o sistema mais usual para aterro estaqueado, segundo Barbosa (et. al., s.d.).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 ÁREA EM ESTUDO

A área destinada à implantação do aterro, objeto deste estudo, está situada no segmento compreendido entre os km 22+200 e km 24+400, do Lote 29, da obra de duplicação e restauração da Rodovia BR 101/SC. Trata-se de uma obra destinada a melhorar o acesso à cidade de Araranguá – SC. A Figura 1 apresenta o local, a projeção do aterro objeto de estudo e a disposição dos furos de sondagem.

Figura 1 - Imagem da área com os furos de sondagem.



Fonte: Valerim Júnior, 2010

O estudo geológico foi realizado com base no Projeto Final de Engenharia de Duplicação da Rodovia BR 101/SC.

A geologia da área de interesse apresenta uma transição entre os Depósitos Marinhos, representados por material predominantemente argiloso, marrom a avermelhada, e os depósitos Aluvio/Lagunares, constituídos por argila arenosa cinza clara a escura, muito mole a mole. A referida área é conhecida como “Banhado do Maracajá”, saturada permanentemente, o que provoca nos períodos chuvosos o alagamento das vias de acesso a cidade de Araranguá, complicando o fluxo da BR101/SC.

## 2.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO DE FUNDAÇÃO

O solo de fundação, onde será implantado o aterro, possui um comprimento total de 2200 metros e 37,15 metros de largura. A caracterização geotécnica do mesmo foi feita com base em 26 (vinte e seis) furos de sondagem de simples reconhecimento, com ensaios de SPT, executados pela empresa SOTEPA – Sociedade Técnica de Estudos de Projetos e Assessoria Ltda.

## 2.3 TENSÕES NA SUPERFÍCIE DO SOLO DE FUNDAÇÃO

As tensões ( $\sigma_z$ ) que atuam no solo de fundação são provenientes do peso próprio do aterro e da sobrecarga gerada pelos veículos. A determinação das tensões foi feita através do método de Braja (2007).

## 2.4 CARGA DE COMPRESSÃO ATUANTE NAS ESTACAS

Com a tensão máxima ( $\sigma_{z\text{máx}}$ ) atuante no solo de fundação e a área de influência da estaca ( $A_{ie}$ ), calcula-se a carga de compressão (N) atuante na mesma, através da seguinte equação:

$$N = \sigma_{zmáx} * A_{ie} \quad (1)$$

Em que:

N = carga de compressão;

$A_{ie}$  = área de influência da estaca;

$\sigma_{zmáx}$  = tensão máxima.

## 2.5 DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO DAS ESTACAS

No dimensionamento geotécnico adotaram-se os métodos de Jopert Júnior (2004) e Costa Nunes (1974).

### 2.5.1 DIMENSIONAMENTO POR JOPERT JÚNIOR (2004)

Ivan Jopert Júnior introduziu o método para calcular a capacidade de carga de tirantes tubulares, método este, que foi apresentado no SEFE V, Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia.

O estudo feito por Jopert foi desenvolvido para tirantes tubulares autoperfurantes, compostos por um conjunto de tubos nervurados emendados por meio de luvas sextavadas e rosqueáveis, o que possibilita o cálculo da carga de ruptura para tirantes com qualquer comprimento.

O processo executivo, de tirantes tubulares autoperfurantes, é semelhante ao processo executivo adotado para estacas tipo “Alluvial Anker”, pois os dois são compostos por um tubo maciço circular, com posterior aplicação do líquido cimentante, sem pressão de injeção. Logo, a carga de ruptura ( $Q_{rup}$ ) da estaca tipo “Alluvial Anker” pode ser calculada pela fórmula a seguir:

$$Q_{rup} = 9,2 * N_{SPT} * \emptyset * L * K \quad (2)$$

Onde:

$Q_{rup}$  = Carga de ruptura da estaca;

$N_{SPT}$  = Número médio de SPT na região de implantação do bulbo de ancoragem;

$\emptyset$  = Diâmetro da estaca, em metros;

L = Comprimento da estaca, em metros;

K = Coeficiente que depende do tipo de solo.

A carga admissível da estaca é obtida pela equação abaixo.

$$Q_{adm} = \frac{Q_{rup}}{2} \quad (3)$$

Onde 2,00 é o fator de segurança global da norma brasileira para fundações (NBR 6122/96).

## 2.6 DIMENSIONAMENTO POR COSTA NUNES (1978)

Em 1974 Costa Nunes propôs, baseado no método de Ostermayer (1970), um equação semi-empírica para a execução de micro estacas, ficando conhecido então como o método brasileiro para dimensionamento de micro estacas, que é semelhante a “Alluvial Anker”.

Fazendo uma simplificação da equação original,  $n_d = n_l = n_h = 1$ , pois na mesma não há pressão de injeção, chegamos a equação simplificada por Costa Nunes (1978), retirada de Hachich (et. al., 1998):

$$Q_{rup} = \pi * \phi * L * [c + (K_0 * \gamma * h * tg\phi)] \quad (4)$$

Sendo:

$Q_{rup}$  = Carga de ruptura da estaca;

$\phi$  = Diâmetro da estaca;

L = Comprimento da estaca.

c = aderência entre a argamassa e o solo; em face da irregularidade do fuste, pode-se adotar "c" igual a coesão do solo;

$\gamma$  = peso específico do solo;

h = profundidade do centro do fuste;

$\phi$  = ângulo de atrito interno do solo;

$K_0$  = coeficiente de empuxo, que para o estado em repouso pode ser estimado, aproximadamente pela expressão  $K_0 = 1 - \text{sen } \phi$  estabelecida por Jaky (1944);

Para a obtenção dos parâmetros citados na equação 4, como a coesão “c”, peso específico “ $\gamma$ ” e ângulo de atrito “ $\phi$ ”, lançou-se mão da correlação entre o NSPT e o tipo de solo encontrado nas sondagens.

Vale ressaltar que para as argilas puras, com NSPT variando de 0 a 1, Cerutti (2011) determinou o valor de coesão “ $c_u$ ” e peso específico pelo ensaio à compressão simples não confinado sendo, respectivamente, 5,82 KPa e 13,80 KN/m<sup>2</sup>.

## 2.7 CÁLCULO DO RECALQUE DA ESTACA

Recalque é um dos grandes problemas de patologias em obras de engenharia. Logo, como as estacas serão implantadas em um solo com consistência variando de muito mole a mole, é de se esperar que as mesmas recalquem. Portanto, será verificada a existência ou não dele, bem como, a sua magnitude.

Como não mobilizamos resistência de ponta, ela não será considerada no cálculo efetivo do recalque, logo a equação geral de Vésic (1969 apud Albuquerque, 2001) fica reduzida a:

$$r = r_e + r_l \quad (5)$$

Sendo:

$r$  = recalque total da estaca;

$r_e$  = recalque por encurtamento elástico e

$r_l$  = recalque do solo desenvolvido ao longo do fuste da estaca.

Assim temos que:

$$r_e = Q_p + \alpha_{ss} * Q_l * \left( \frac{L}{A_p * E_c} \right) \quad (6)$$

Onde:

$r_e$  = recalque por encurtamento elástico;

$Q_l$  = carga do carregamento se solo;

$Q_p$  = carga desenvolvida pela ponta;

$\alpha_{ss}$  = fator referente ao tipo de distribuição da carga no fuste, que será adotado 0,33 pois se trata de uma carga que aumenta ao longo da profundidade, carga triangular;

$A_p$  = área da seção transversal da estaca;

$E_c$  = módulo de elasticidade do material componente da estaca.

O cálculo do recalque desenvolvido pelo atrito lateral com o solo é feito pela equação:

$$r_l = \frac{C_l * Q_l}{L * q_l} \quad (7)$$

Sendo:

$r_1$  = recalque do solo desenvolvido ao longo do fuste da estaca;

$C_1$  = fator dependente do tipo de solo e do tipo de estaca;

$Q_1$  = carga do carregamento se solo;

$q_1$  = carga de resistência por atrito lateral.

Sendo  $C_l$ :

$$C_l = \left[ 0,93 + \left( 0,16 * \sqrt{\frac{L}{\emptyset}} \right) \right] * C_p \quad (8)$$

Sendo:

$C_p$  = constante que depende do tipo de solo, para este estudo será adotado 0,08.

## 2.8 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DA ESTACA

De posse de  $N$ , do diâmetro das estacas ( $\emptyset$ ), da resistência característica da argamassa ( $f_{ck}$ ) e da resistência característica do aço ( $f_{yk}$ ), obtida da norma API 5L, calcula-se a área de aço através, da equação proposta por Hachich (et. al., 1998):

$$A_s = \frac{(2 * N * 1,4) - (0,6 * \emptyset^2 * f_{ck})}{(0,9 * f_{yk}) - (0,765 * f_{ck})} \quad (9)$$

Em que:

$A_s$  = área de aço da seção transversal da armadura com influência da argamassa ou nata de cimento;

$N$  = carga de compressão;

$\emptyset$  = diâmetro da estaca;

$f_{ck}$  = resistência característica da argamassa e

$f_{yk}$  = resistência característica do aço.

## 2.9 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DO BLOCO DE COROAMENTO

O dimensionamento estrutural do bloco de coroamento, sobre uma estaca, foi feito segundo o método de Botelho (et. al., 2004), para o qual se utilizaram as equações seguintes:

$$a_0 \cong \frac{\emptyset_e}{2} \quad (10) \quad c_0 = 25 * \emptyset_t \quad (11)$$

Sendo:

$a_0$  = Distância da face da estaca até na face do bloco;

$c_0$  = Distância do eixo da estaca até na face do bloco;

$\varnothing_e$  = Diâmetro do tubo da estaca;

$\varnothing_t$  = Diâmetro do estribo.

A força de tração atuante no bloco é determinada pela equação abaixo:

$$z = 0,25 * N * \frac{B}{d} \quad (12)$$

Sendo:

z = força de tração atuante no bloco;

B = largura do bloco;

d = altura útil do bloco.

O Cálculo da área de aço do estribo horizontal e a resistência à tração do concreto são feitos pelas seguintes equações:

$$A_{st} = \frac{1,15 * \gamma_f * z}{2 * f_{yd}} \quad (13) \quad \sigma_t = \frac{z}{B * h} \quad (14)$$

Sendo:

$A_{st}$  = Área de aço do estribo horizontal;

$\gamma_f$  = Coeficiente de segurança para estruturas de concreto igual a 1,4;

$f_{yd}$  = Valor da resistência de cálculo a ruptura do aço;

$\sigma_t$  = tensão de tração atuante no concreto;

h = altura do bloco.

### 3.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 DETERMINAÇÃO DO PERFIL ESTRATIGRÁFICO

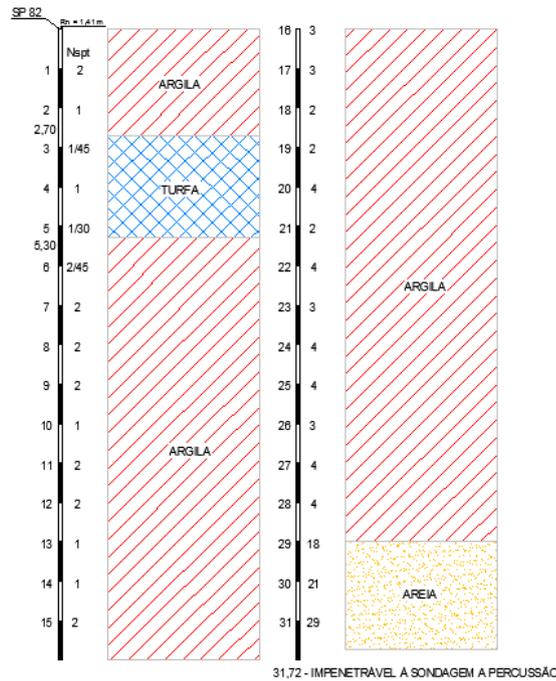
A análise dos boletins de sondagem demonstra que o perfil stratigráfico, da área objeto de estudo, é heterogêneo, ou seja, composto por uma intercalação de camadas de argila muito mole, turfa e areias medianamente compactas a compactas, com impenetráveis a sondagem à percussão, variando de 16,75 metros a 38,90 metros.

Para fins de dimensionamento, adotou-se o furo SP 82, por apresentar o pior comportamento geotécnico, A Figura 2 apresenta o perfil stratigráfico do referido furo, que apresenta ao longo da sua profundidade a seguinte composição:

- 0,00m a 2,70m – Argila, cinza escura, muito mole;
- 2,70m a 5,30m - Turfa, muito mole;
- 5,30m a 29,00m - Argila, cinza escura, variando de muito mole a mole;

- 29,00m a 31,72m - Areia cinza escura, medianamente compacta a compacta.

Figura 2 - SP 82.

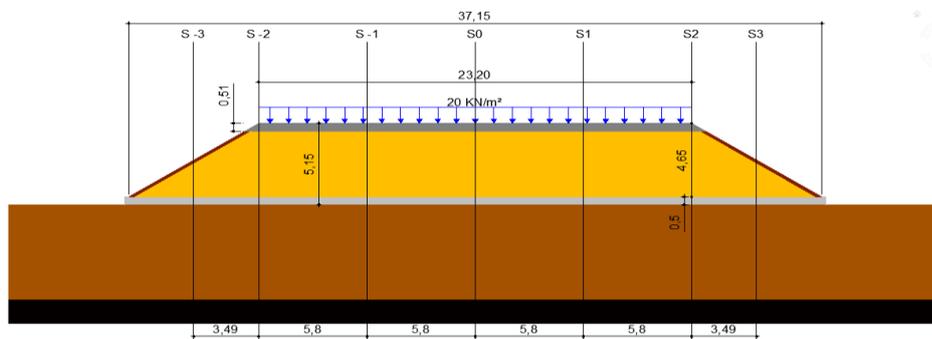


Fonte: Lucas Richardt Bin

### 3.2 CÁLCULO DAS TENSÕES ATUANTES NA SUPERFÍCIE DO SOLO DE FUNDAÇÃO

Para se determinar as tensões geradas pelo aterro, dividiu-se o mesmo (Figura 3) em sete seções (S0, S1, S2, S3, S-1, S-2 e S-3). Com elas definidas e as alturas equivalentes em areia, dos materiais que o compõe, aplica-se o método de Braja (2007), para obtenção dos valores das tensões em cada ponto escolhido, os quais se encontram detalhados na Tabela 1 abaixo e ilustrados na Figura 4.

Figura 3 - Aterro dividido em seções.



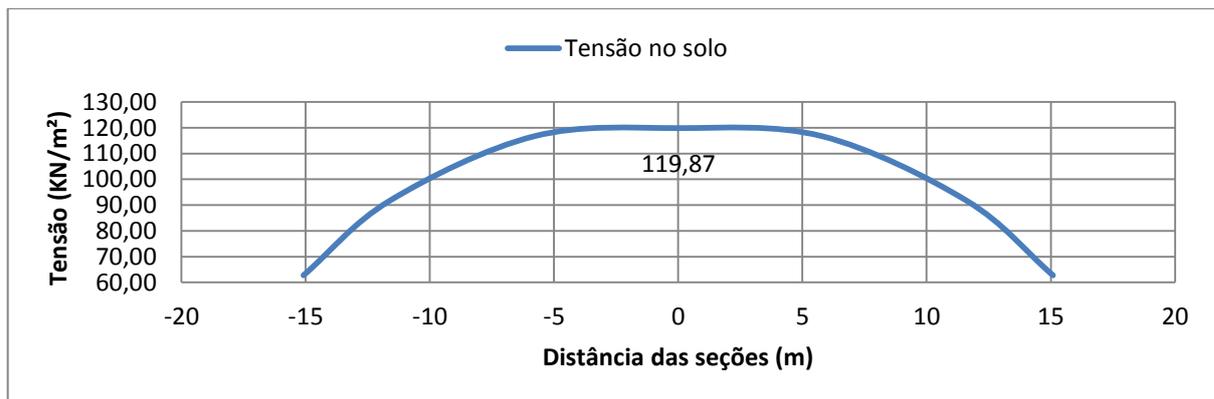
Fonte: Lucas Richardt Bin

Tabela 1 - Cálculo das tensões totais exercidas pelo aterro

SEÇÃO	ALTURA	Q <sub>0</sub>	B1	B2	z	α <sub>1</sub>	α <sub>2</sub>	Δσ <sub>z</sub>	TOTAL (KN/m <sup>2</sup> )
S -3	2,81	55,64	0,00	3,49	2,81	0,89	0,00	15,81	62,74
	6,22	123,18	26,69	6,98	6,22	0,05	1,34	61,42	
	2,33	46,13	0,00	3,49	2,33	0,98	0,00	14,38	
S -2	5,21	103,16	0,00	6,98	5,21	0,93	0,00	30,51	91,77
	6,22	123,16	23,20	6,98	6,22	0,06	1,31	61,26	
S -1	6,22	123,16	5,80	6,98	6,22	0,37	0,75	55,79	116,71
	6,22	123,16	17,40	6,98	6,22	0,09	1,23	60,92	
S 0	6,22	123,16	11,60	6,98	6,22	0,17	1,08	59,93	119,87
	6,22	123,16	11,60	6,98	6,22	0,17	1,08	59,93	
S 1	6,22	123,16	5,80	6,98	6,22	0,37	0,75	55,79	116,71
	6,22	123,16	17,40	6,98	6,22	0,09	1,23	60,92	
S 2	5,21	103,16	0,00	6,98	5,21	0,93	0,00	30,51	91,77
	6,22	123,16	23,20	6,98	6,22	0,06	1,31	61,26	
S 3	2,81	55,64	0,00	3,49	2,81	0,89	0,00	15,81	62,74
	6,22	123,16	26,69	6,98	6,22	0,05	1,34	61,35	
	2,33	46,13	0,00	3,49	2,33	0,98	0,00	14,42	

Fonte: Lucas Richardt Bin

Figura 4 - Cálculo das tensões totais exercidas pelo aterro.



Fonte: Lucas Richardt Bin

Com a tensão máxima atuante no solo de fundação,  $\sigma_{z \text{ máx}} = 119,87 \text{ KN/m}^2$ , e a área de influência das estacas,  $A_{ie} = 1,00 \text{ m}^2$ , obtem-se através da equação 1, a carga de compressão atuante nas mesmas, ou seja,  $N = 119,87 \text{ KN}$ .

### 3.3 CAPACIDADE DE CARGA ADMISSÍVEL DA ESTACA TIPO “ALLUVIAL ANKER” – Ø13 CM

A Tabela 2 apresenta um resumo dos resultados da capacidade de carga admissível da estaca “Alluvial Anker”, obtida através dos métodos de Jopert Júnior (2004) e

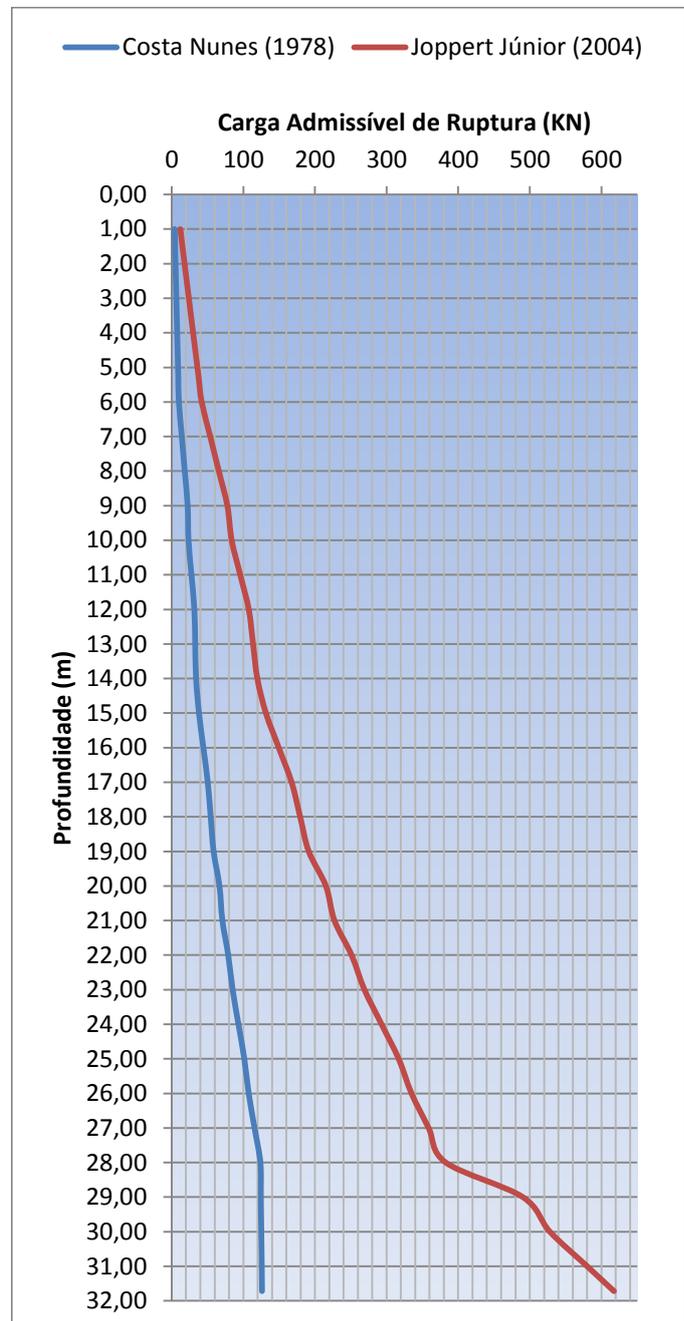
Costa Nunes (1978). O gráfico da Figura 5 apresenta a capacidade de carga admissível, da estaca, ao longo da profundidade obtida para cada método.

Tabela 2 - Capacidade de carga x Profundidade

Tipo de Solo	Prof. (m)	N <sub>SPT</sub>	Costa Nunes Q <sub>adm</sub> (KN)	Joppert Júnior Q <sub>adm</sub> (KN)
Argila	1,00	2	4,08	11,96
Argila	2,00	1	5,27	17,94
Argila	2,70	1	6,10	22,13
Argila	3,00	1	6,46	23,92
Argila	4,00	1	7,65	29,90
Argila	5,00	1	8,84	35,88
Argila	5,30	1	9,19	37,67
Argila	6,00	1	10,03	41,86
Argila	7,00	2	14,11	53,82
Argila	8,00	2	18,19	65,78
Argila	9,00	2	22,28	77,74
Argila	10,00	1	23,47	83,72
Argila	11,00	2	27,55	95,68
Argila	12,00	2	31,64	107,64
Argila	13,00	1	32,82	113,62
Argila	14,00	1	34,01	119,60
Argila	15,00	2	38,10	131,56
Argila	16,00	3	44,22	149,50
Argila	17,00	3	50,35	167,44
Argila	18,00	2	54,43	179,40
Argila	19,00	2	58,52	191,36
Argila	20,00	4	66,68	215,28
Argila	21,00	2	70,77	227,24
Argila	22,00	4	78,94	251,16
Argila	23,00	3	85,06	269,10
Argila	24,00	4	93,23	293,02
Argila	25,00	4	101,40	316,94
Argila	26,00	3	107,53	334,88
Argila	27,00	4	115,69	358,80
Argila	28,00	4	123,86	382,72
Areia	29,00	18	124,47	490,36
Areia	30,00	21	125,11	528,03
Areia	31,00	29	125,75	580,06
Areia	31,72	29	126,09	617,52

Fonte: Lucas Richardt Bin

Figura 5 - Capacidade de carga x Profundidade



Fonte: Lucas Richardt Bin

### 3.4 CÁLCULO DO RECALQUE DA ESTACA

O cálculo do recalque total ( $r$ ), do recalque por encurtamento elástico ( $r_e$ ), do recalque do solo desenvolvido ao longo do fuste da estaca ( $r_f$ ), foi feito através das

equações 5, 6 e 7, respectivamente. Os parâmetros adotados nas referidas equações estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros adotados para o cálculo do recalque total

Parâmetro	Valor
$C_i$	0,2024
$Q_i$	179,40 KN/m <sup>2</sup>
$A_p$	0,013m <sup>2</sup>
$E_c$	210 Gpa

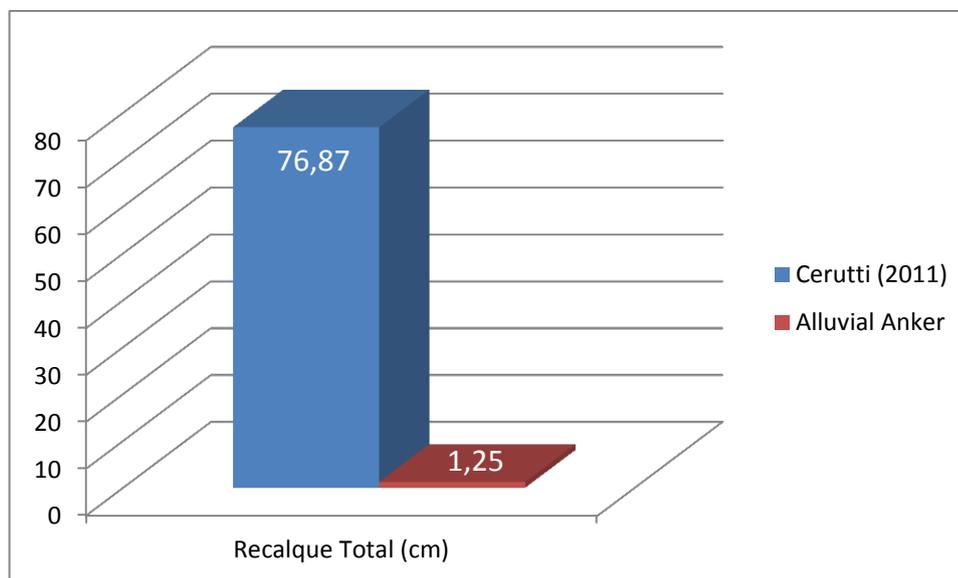
Fonte: Lucas Richardt Bin

Os valores obtidos para os referidos recalques foram:

$r_e = 2,8 \times 10^{-2}$  cm;  $r_l = 1,23$  cm e  $r = 1,25$  cm.

Mesmo quando analisado isoladamente, o valor encontrado, para o recalque total, pode ser considerado insignificante, pois é menor que 2cm. Fazendo um comparativo com o recalque total esperado por Cerutti (2011), chega-se ao gráfico da Figura 6.

Figura 6 - Comparativo entre o recalque total esperado .



Fonte: Lucas Richardt Bin

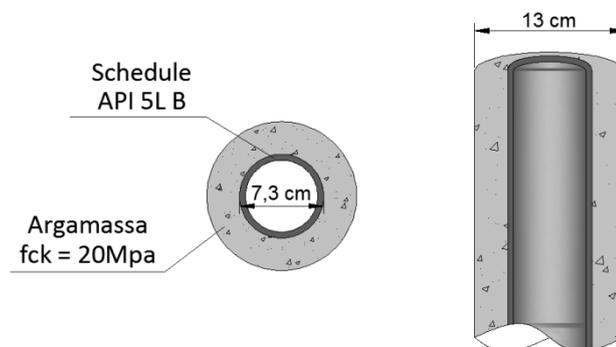
Percebe-se que o valor encontrado, para o recalque total, é praticamente nulo, representando apenas 1,62% do recalque esperado por Cerutti (2011).

### 3.5 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DA ESTACA

De posse de  $N$  (119,87 KN), do diâmetro das estacas (13,00 cm), da resistência característica da argamassa ( $f_{ck}=20$  MPa) e da resistência característica do aço ( $f_{yk}=414,00$  MPa), obtida da norma API 5L, calculou-se através da equação 9 a área de aço da estaca ( $A_s$ ), que foi de  $3,72$  cm<sup>2</sup>. O detalhe da estaca está na Figura 6.

Como o tubo Schedule de 2½ polegadas possui  $10,98$ cm<sup>2</sup> de área de aço, a estaca comporta as cargas às quais está sendo submetida. A Figura 7 representa a seção transversal da estaca.

Figura 7 - Detalhe da estaca.



Fonte: Lucas Richardt Bin

### 3.5 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DO BLOCO DE COROAMENTO

O cálculo do bloco de coroamento e suas verificações foram feitos através das equações 10, 11, 12, 13 e 14, respectivamente. A Tabela 4 mostra os valores dos parâmetros adotados no dimensionamento.

Tabela 4 - Parâmetros para o dimensionamento do bloco de coroamento.

Parâmetro	Valor
$\phi_t$	6,30 mm
$h$	30 cm
$B$	35 cm
$d$	25 cm
$f_{yd}$	434,78 Mpa

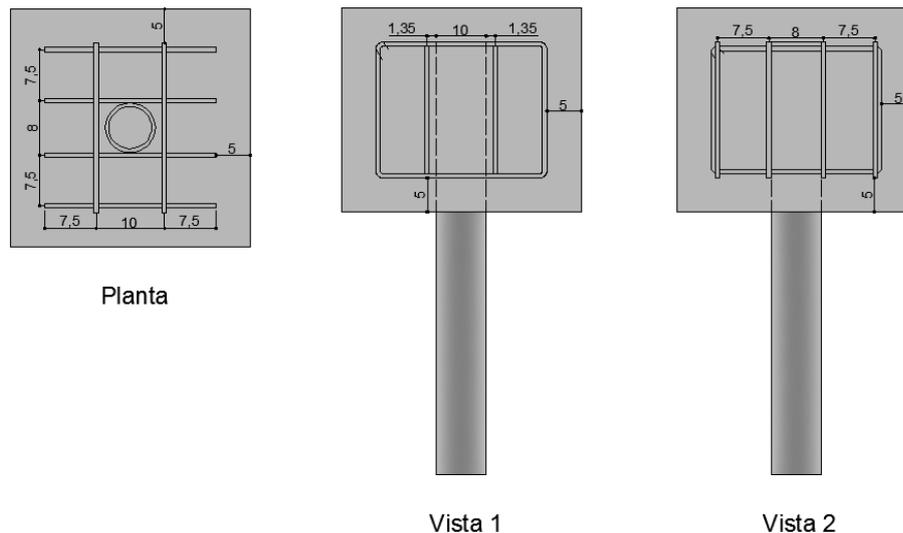
Fonte: Lucas Richardt Bin

Com isso os valores encontrados para as referidas equações são:

$a_0 = 3,65$ cm;  $c_0 = 15,75$ cm;  $z = 4,19$ t;  $A_{st} = 0,77$ cm<sup>2</sup> e  $\sigma_t = 4$ Kgf/cm<sup>2</sup>.

Logo, temos o estribo horizontal  $M1 = 4 \varnothing 6,30$  e, com esta resistência a tração, pode-se utilizar um concreto de 15 Mpa para os blocos, que atenderá a resistência a tração máxima,  $f_{tk}$ , de 15Kgf/cm<sup>2</sup>. No entanto, no presente trabalho será utilizado um concreto de 20 MPa. A Figura 8 demonstra melhor como fica o detalhamento estrutural do bloco de coroamento.

Figura 8 – Detalhe da armadura do bloco de coroamento – Dimensões em centímetro



Fonte: Lucas Richardt Bin

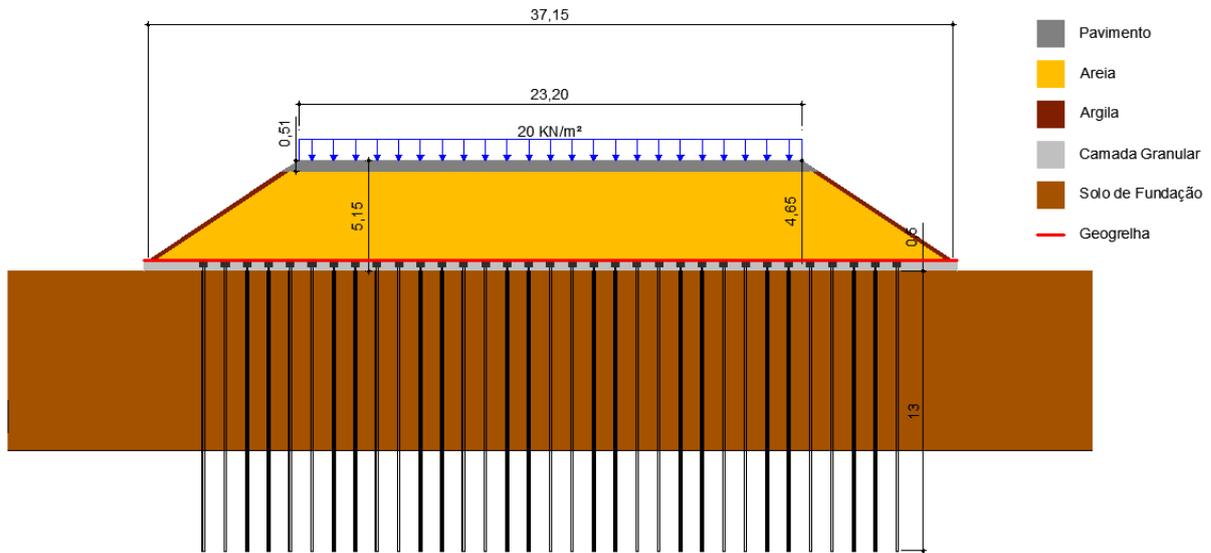
#### 4.0 CONFIGURAÇÃO FINAL DO ATERRO

Com a escolha de Joppert Júnior (2004) como o método de dimensionamento já é possível determinar a configuração final do aterro, que será composto por:

- 33 estacas com 13,50m de comprimento sendo 13,00m abaixo do nível do solo e 0,50m acima;
- 33 blocos de coroamento, de 0,35x0,35x0,30m;
- 0,50m de camada granular;
- Geogrelha soldada de poliéster 600KN/m, a especificação está disposta no Anexo F;
- 4,65m de areia;
- 0,20m de argila para selamento do talude;
- 0,51m de pavimento.

A Figura 9 demonstra melhor a disposição do aterro sobre as estacas.

Figura 9 - Configuração final do aterro



Fonte: Lucas Richardt Bin

#### 4.1 ORÇAMENTO

O orçamento para implantação, constante na Tabela 5, considerou custos de material e mão de obra, de acordo com o sistema SICRO2, e de informações fornecidas pelo consórcio Construcap-Modern-Ferreira Guedes, Maccaferri e Fundasul.

Tabela 5 - Valor para implantação do aterro - Preço Fundasul Engenharia Ltda.

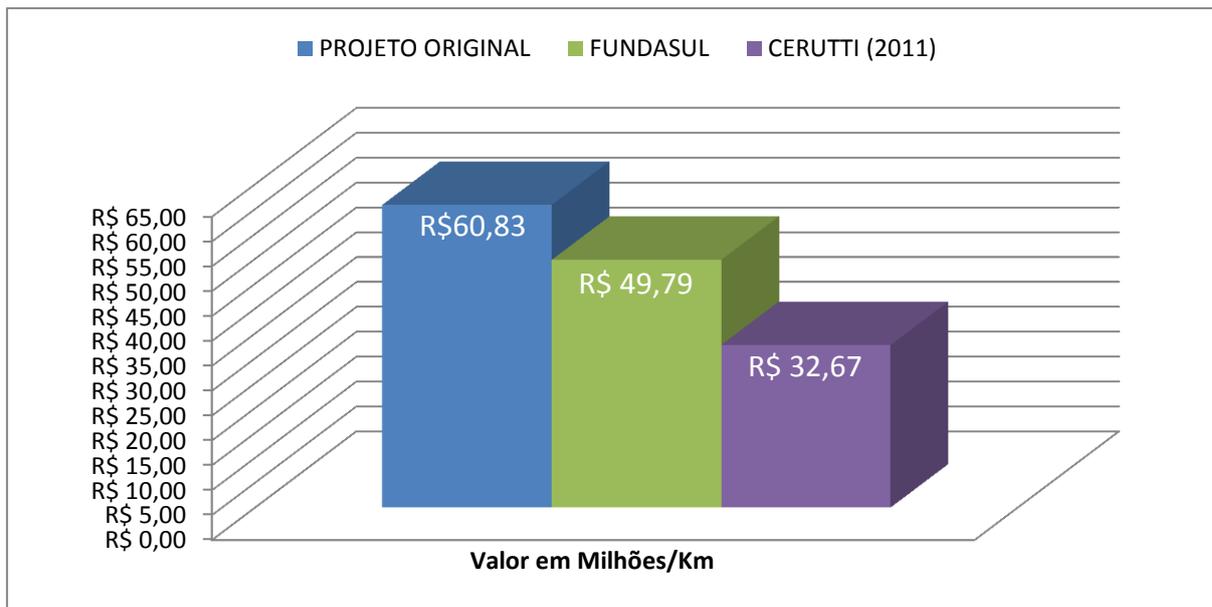
Produto	Unidade/m	Quantidade	Preço Unit. R\$	Reajuste	Custo/Km
Areia	m <sup>3</sup>	125100	R\$ 16,59	3,7%	R\$ 2.152.458,59
Argila	m <sup>3</sup>	2980	R\$ 3,11	3,7%	R\$ 9.613,80
“Alluvial Anker”	m	445500	R\$ 88,74	0,0%	R\$ 39.533.670,00
Bloco Coroamento	un	33000	R\$ 50,00	0,0%	R\$ 1.650.000,00
BGS	m <sup>3</sup>	18770	R\$ 73,59	0,0%	R\$ 1.381.284,30
Geogrelha 600 kN/m	m <sup>2</sup>	37150	R\$ 84,65	1,5%	R\$ 3.191.956,42
Pavimento	m <sup>3</sup>	12220	R\$ 150,49	1,5%	R\$ 1.866.622,85
<b>TOTAL =</b>					<b>R\$ 49.785.605,96</b>

Fonte: Lucas Richardt Bin

#### 4.2 ANÁLISE COMPARATIVA

Analisando as propostas de orçamento da obra chega-se a seguinte Figura 10.

Figura 10 - Comparativo de valores



Fonte: Lucas Richardt Bin

Pela análise da figura do gráfico acima, fica demonstrado que a solução de aterro apoiado sobre estacas, tipo “Alluvial Anker” é 34,39% mais onerosa que a proposta de Cerutti (2011), e 18,15% mais econômica que a proposta do DNIT.

Logo, conclui-se que a solução proposta por Cerutti (2011), ainda é a solução mais econômica para a implantação do aterro do Banhado do Maracajá. No entanto, a solução em aterro estaqueado, é mais difundida e aceita no meio técnico, que a solução de aterro com núcleo de EPS, sendo assim a solução proposta no presente trabalho, a alternativa mais confiável.

## 5.0 CONCLUSÕES

O presente trabalho foi elaborado para galgar mais uma solução para a duplicação da BR-101 Trecho Sul, entre o km 22+200 e km 24+400, conhecido como “Banhado do Maracajá”, e melhorar o acesso à cidade de Araranguá – SC.

Os estudos realizados permitem concluir que o método de Costa Nunes (1978) é muito conservador, ou seja, apresenta comprimento de estaca 48,14%, superior ao do obtido pelo método de Joppert Junior (2004), método este, que mais se aproxima dos valores obtidos no dimensionamento realizado pela empresa Solotrat Engenharia Ltda, para obra de pavimentação da Interseção DF-079 (EPVT)/DF-085 (EPTG).

Quanto ao recalque total da estaca constatou-se que este é insignificante, chegando a ser praticamente nulo quando comparado a Cerruti (2011), apresentando um valor 1,62% do recalque total esperado para um aterro com núcleo em EPS. Portanto, seu valor pode ser desprezado.

A análise comparativa dos custos de implantação das soluções constantes no presente trabalho demonstra que a solução de aterro apoiado sobre estacas, tipo “Alluvial Anker” é 34,39% mais onerosa que a proposta de Cerutti (2011), e 18,15% mais econômica que a proposta do DNIT. No entanto, a solução em aterro estaqueado, é mais difundida e aceita no meio técnico, que a solução de aterro com núcleo de EPS, sendo a solução proposta no presente trabalho, a alternativa mais confiável.

Com isso, chega-se a principal conclusão deste estudo, que é a viabilidade tanto técnica quanto econômica, para um aterro sobre solo mole, com 2200 metros de extensão, apoiado sobre estacas tipo “Alluvial Anker”.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P.J.R. **Estacas escavadas, hélice contínua e ômega: Estudo do comportamento à compressão em solo residual de diabásio, através de prova de carga instrumentadas em profundidade.** 2001. 186 p. Tese de Doutorado. São Paulo.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, **Specification for line pipe**, Second edition, Washington DC, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122 – Projeto e execução de fundações.** Rio de Janeiro, 1996.

BARBOSA, Max. SOUZA, George J. T. de. ZIRLIS, Alberto Casati. PITTA, Cairbar Azzi. MIARI, Cassio. LEMOS, Alexandre. SAMPAIO, Josias. DIAS, Samuel. **“Alluvial Anker” como alternativa para fundações em argila mole.** Manual técnico da SOLOTRAT. s.d. Disponível em: [http://www.solotrat.com.br/ws/files/2009-geocentro\\_alluvial\\_anker\\_como\\_alternativa\\_para\\_fundacoes\\_em\\_argila\\_mole.pdf](http://www.solotrat.com.br/ws/files/2009-geocentro_alluvial_anker_como_alternativa_para_fundacoes_em_argila_mole.pdf).

Acesso em: 15/04/2012

BOTELHO, Manoel Henrique Campos, MARCHETTI, Osvaldemar, **Concreto armado, eu te amo.** São Paulo, Ed. Edgard Blücher, 2004. v.2

CERUTTI, Ricardo. **Determinação da equação de correlação do coeficiente de recalque (k) de um solo da formação palermo em função do CBR.** 83 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma. 2011.

DAS, Braja M.. **Fundamentos de engenharia geotécnica.** São Paulo: Thomson, 2007. 561 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-PRO 381 – Projeto de aterros sobre solos moles para obras viárias.** Rio de Janeiro, 1998.

HACHICH, Waldemar. FALCONI, Frederico F. SAES, José Luiz. FROTA, Régis G. Q. CARVALHO, Celso S. NIYAMA, Sussumu. **Fundações: teoria e pratica**. 2.ed. São Paulo: PINI, 1998.

JOPPERT JUNIOR, Ivan, **Fundações e contenções de edifícios: qualidade total na gestão do projeto e execução**. São Paulo, PINI, 2007, 221 p.

VALERIM, Valdir. **Análise e dimensionamento de um aterro sobre solos moles – Lote 29 – BR 101 – Sul: Estudo de caso**. 2010. 113 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma. 2010