

CONTENÇÃO DE TALUDE DE ESCAVAÇÃO COM ESTACAS JUSTAPOSTAS ESTUDO DE CASO

Orientando: Paulo Francisco Gaspar(1); Orientador: Adailton Antônio dos Santos(2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1) pafraga7@gmail.com (2) adailtongeo@msn.com

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo o dimensionamento de uma estrutura de contenção do tipo cortina de Estacas Justapostas, a ser utilizado na construção do subsolo de um edifício, situado no município de Içara. Para avaliar as características do subsolo da área objeto de estudo, foram executadas investigações geotécnicas através de sondagens à percussão. Com base nessas informações, foi feito o perfil do terreno, determinado os parâmetros do solo e desenvolvidos os cálculos. Neste projeto foram utilizadas duas metodologias de cálculo da estrutura de contenção: o manual (resolvido por meio de equações de equilíbrio) e o cálculo computacional (resolvido por meio do programa computacional *Cype*). De posse dos esforços de momentos e dos esforços de cisalhamento, fornecidos pelos métodos de cálculo, foi realizado o dimensionamento estrutural da cortina de estaca justaposta. Foi feita a comparação entre o método de cálculo manual e o computacional para o cálculo da ficha e da armação das estacas e observou-se que os valores dados pelo método manual foram mais conservadores. Foi feito também uma análise comparativa dos custos entre Estaca Justaposta, Solo Grampeado com Concreto Projetado e Solo Grampeado com Cortina de Concreto Armado, e concluiu-se que a solução em Estaca Justaposta não é apenas eficiente tecnicamente mas economicamente viável.

Palavra chave: Contenção. Empuxo. Estaca Justaposta. Cype

1. INTRODUÇÃO

Obras de contenção são comumente empregadas na Engenharia Civil. A intensa ocupação urbana, nas grandes cidades, gera a necessidade de execução de obras subterrâneas. As escavações em obras subterrâneas provocam a movimentação da massa de solo próxima às mesmas, devido à perda de material, variação no estado inicial de tensões, rebaixamento do lençol freático, com eventual adensamento de solos saturados. A determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo, para solicitação horizontal, e a metodologia de cálculo para determinação dos esforços causado pelo empuxo do solo, são de fundamental importância, para

execução de uma construção com segurança adequada. Este trabalho tem como objetivo geral o dimensionamento e o detalhamento de uma estrutura de contenção de estaca justaposta em balanço, que permitirá a construção no subsolo de pavimento de garagens para um edifício situado no município de Içara.

1.1 MÉTODO DE BLUM (1931)

O método de Blum (1931) considera o empuxo ativo e o empuxo passivo abaixo da escavação, que precisará ser mobilizado.

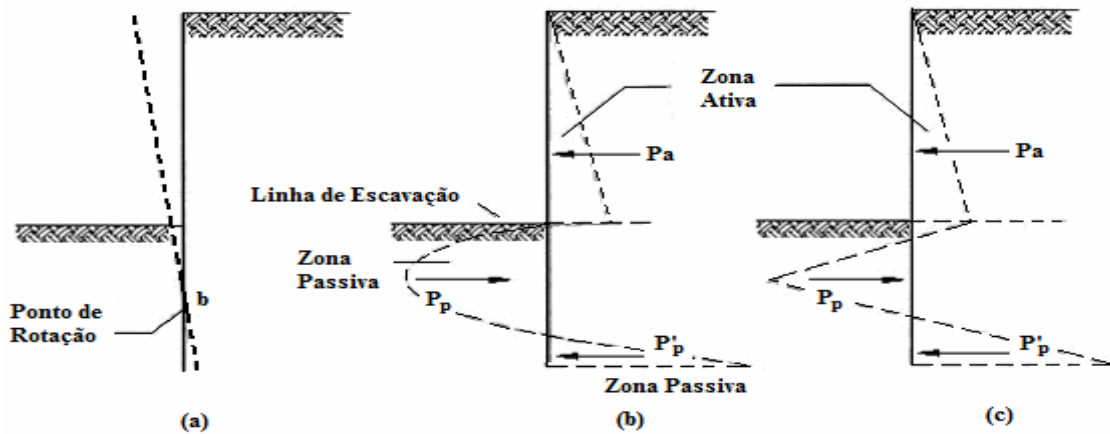


Figura 1: Cortina em balanço; (a) Deformada da parede; (b) distribuição das pressões obtidas pelas teorias da elasticidade e plasticidade; (c) Diagrama simplificado
Fonte: Marzionna et. al. (1998).

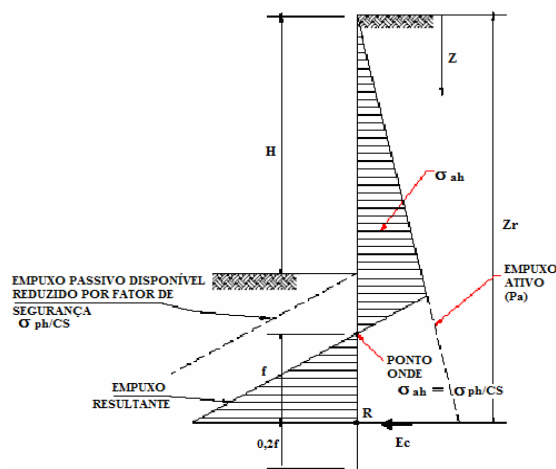


Figura 2: Método de Blum para paredes em balanço com ficha mínima
Fonte: Marzionna et. al. (1998).

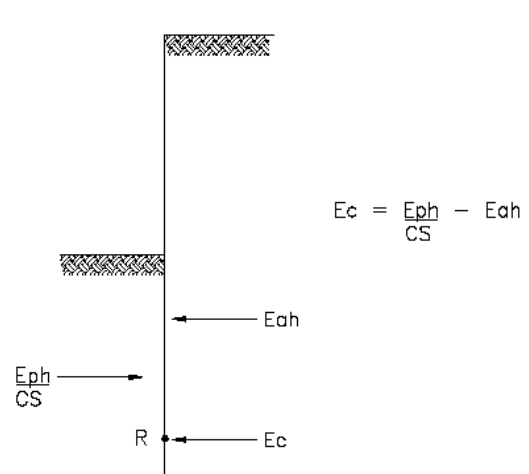


Figura 3: Contra-Empuxo no Método de Blum
Fonte: Marzionna et. al. (1998).



Segundo Marzionna et. al, (1998), para o cálculo da ficha mínima, é suficiente aplicação do método, que consiste em aplicar as equações de equilíbrio conforme o carregamento indicado na Figura 2. É considerado a existência de um contra empuxo “ E_c ” como mostrado na Figura 2 e 3, que garantirá o equilíbrio das forças horizontais, sem influenciar no equilíbrio dos momentos, pois atua no centro de rotação R da parede. Este método admite um acréscimo no comprimento da ficha de 20%. Adota-se para o coeficiente de segurança o valor maior que 1,5, para obras provisórias, e 2,0 para obras definitivas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia desse trabalho consistiu primeiramente numa pesquisa bibliográfica, sobre estacas raiz e contenções executadas com as mesmas, uma vez que o presente trabalho objetiva garantir a estabilidade de uma escavação de 5 m de altura por 30 m de largura, através de uma cortina de estacas raiz, com espaçamento entre eixos de 0,5 m. Para atingir o objetivo proposto foi feito um levantamento de dados existentes sobre o local a ser escavado, tais como: levantamento planialtimétrico cadastral (planimetria, altimetria e cadastro de construções adjacentes a escavação), e investigações geotécnicas (sondagem à percussão). De posse das investigações geotécnicas e dos mapas geológicos da região, realizou-se a caracterização geológica da área e traçou-se o perfil estratigráfico do terreno. Para a determinação da ficha das estacas pelo método manual aplicou-se o Método de Blum (1931), determinando-se os parâmetros físicos, de resistência ao cisalhamento e de deformação dos solos que constituem o perfil estratigráfico, através de correlações com o NSPT. Definida a ficha, partiu-se para o dimensionamento estrutural das estacas tomando como base a NBR 6118/2003. Para fim de análise comparativa foi determinada a ficha e a armação das estacas de acordo com a NBR 6118/2003, através do programa computacional de elementos finitos, *Cype*, módulo de cortina. Por fim, levantou-se os custos de implantação da cortina de estaca raiz, o que permitiu a realização de uma análise comparativa com a solução de Solo Grampeado.



2.1. LOCALIZAÇÃO

O terreno objeto de estudo fica situado no município de Içara, no estado de Santa Catarina, Brasil, nas coordenadas geográficas: longitudinal $W 49^{\circ}18'12.74''$ e latitude $S 28^{\circ}43'01.24''$.

2.2. GEOLOGIA

A geologia da região de Içara é caracterizada por rochas sedimentares de idade permiana que compõem parte da Bacia Sedimentar do Paraná. Formação Rio Bonito - arenitos finos a grosseiros, cinza-esbranquiçados, localmente conglomeráticos, com estratificações paralelas, cruzadas tabular e acanalada; arenitos sigmoidais e arenitos quartzosos, bem selecionados. Siltitos cinza com lentes de arenitos muito finos, apresentando laminações paralelas, onduladas e bioturbações, folhelhos escuros carbonosos, leitos e camadas de carvão. Na área objeto de estudo predomina o material síltico e argiloso como observado na investigação geotécnica.

2.3. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

O trabalho de investigação geotécnica esteve à cargo da empresa Cerrutti Engenharia Estaqueamento, consistiu-se na execução de três furos SP1, SP2 e SP3, distribuídos ao longo do terreno em estudo. A análise dos furos de sondagem embasou a escolha do perfil do furo SP1 (Figura 4) para utilização no cálculo, pois o mesmo apresenta a situação mais desfavorável geotecnicamente, ou seja, camadas mais espessas de solo, com menores valores de NSPT.

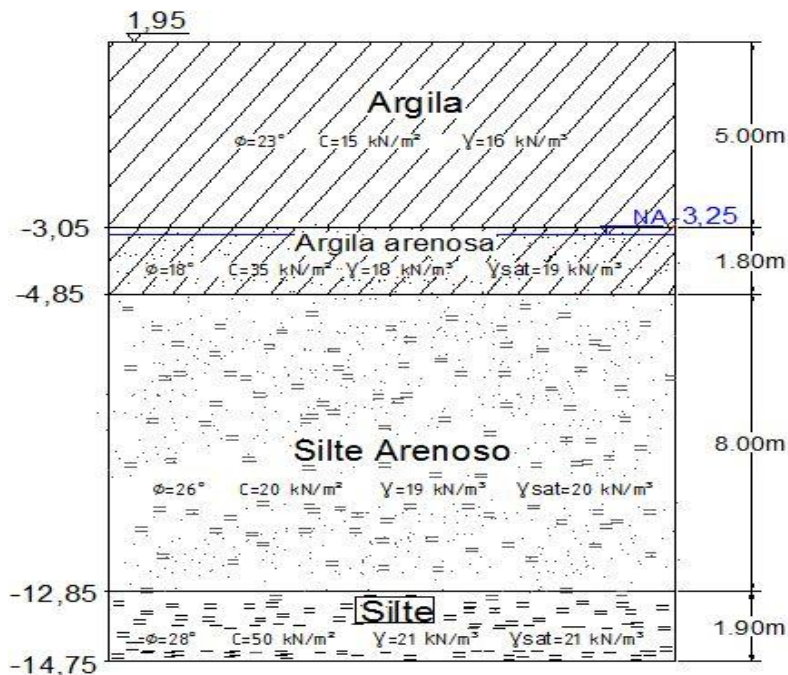


Figura 4: Perfil de cálculo estimado do Furo SP1.

Os parâmetros geotécnicos que constituem o perfil estratigráfico encontram-se na Tabela 1 e foram determinados através de correlações com o NSPT.

Tabela 1: Parâmetros do solo usado nos cálculos.

	Argila	Argila arenosa	Silte arenoso
γ_{nat} (kN/m^3)	16	18	19
γ_{Sat} (kN/m^3)	17	19	20
$\gamma_{Sub.}$ (kN/m^3)	7	9	10
Coesão (kN/m^2)	15	15	15
Ângulo de atrito ($^\circ$)	23	18	26
*Coeficiente de Winkler (kN/m^3)	19300	38200	71000

Fonte: Joppert Jr (2007)

* Dados extraído da Tabela de Morrison (1993)

2.4. DETERMINAÇÃO DA FICHA E DOS ESFORÇOS

Foi considerado um afastamento entre os eixos das estacas de 50 cm, uma sobrecarga uniformemente distribuída de $q = 10 \text{ kN/m}^2$ (MARZIONNA ET AL, 1998), devido a edificação adjacente ao terreno da obra em estudo, e um coeficiente de segurança de 1,5 (NBR-6122/1996). Na Determinação dos coeficientes de

empuxos ativo e passivo para as camadas de solos foi utilizado a teoria de Rankine (1857). A determinação da ficha foi feita através da aplicação do método de Blum (1931). Os cálculos consistem em determinar o valor da ficha F , que determinará o equilíbrio entre os empuxos ativo e passivo ao longo da contenção, sendo este determinado através dos somatórios de momentos no pé da contenção. Após atender a condição do momento na base ser igual a zero, obteve-se o comprimento da ficha e o comprimento total da estaca.

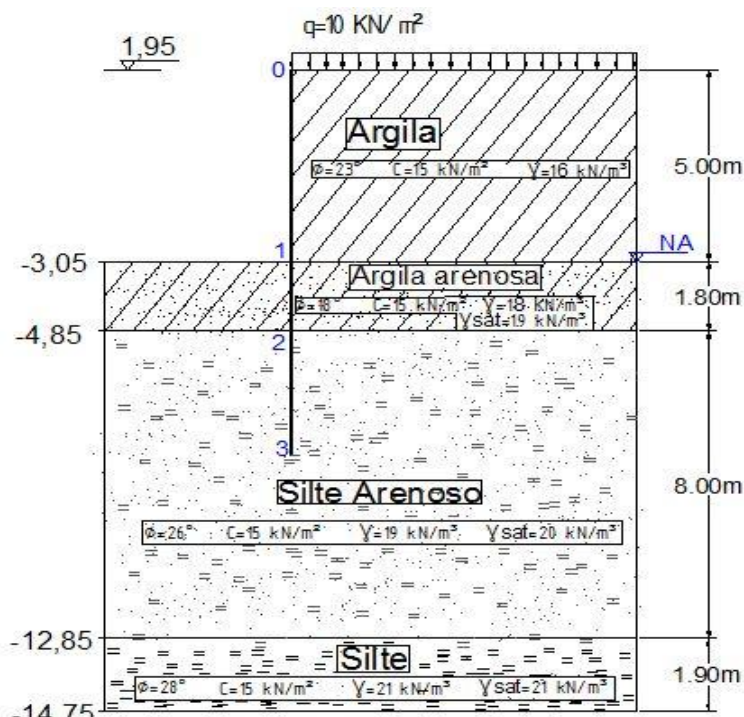


Figura 5: Perfil de cálculo estimado do Furo SP1.

Nos cálculos das pressões foram utilizadas as seguintes fórmulas:

Cálculo das pressões ativas

$$P_{a0} = q \times K_{a1} - 2c_1\sqrt{K_{a1}}$$

$$P_{a1} = P_{a0} + \gamma_1 \times h_1 \times K_{a1}$$

$$P'_{a1} = q \times K_{a2} + \gamma_1 \times h_1 \times K_{a2} - 2c_2\sqrt{K_{a2}}$$

$$P_{a2} = q \times K_{a2} + \gamma_1 \times h_1 \times K_{a2} + \gamma_2 \times h_2 \times K_{a2} - 2c_2\sqrt{K_{a2}} + \gamma_a \times h_2$$

$$P'_{a2} = q \times K_{a3} + \gamma_1 \times h_1 \times K_{a3} + \gamma_2 \times h_2 \times K_{a3} - 2c_3\sqrt{K_{a3}} + \gamma_a \times h_2$$

$$P_{a3} = q \times K_{a3} + \gamma_1 \times h_1 \times K_{a3} + \gamma_2 \times h_2 \times K_{a3} + \gamma_3 \times Y \times K_{a3} - 2c_3\sqrt{K_{a3}} + \gamma_a \times (h_2 + Y)$$

Cálculo das pressões Passivas

$$P_{p1} = 2c_2\sqrt{K_{a2}}$$

$$P_{p2} = \gamma_2 \times h_2 \times K_{p2} + 2c_2\sqrt{K_{a2}} + \gamma_a \times h_2$$

$$P'_{p2} = \gamma_2 \times h_2 \times K_{p3} + 2c_3\sqrt{K_{p3}} + \gamma_a \times h_2$$

$$P_{p3} = \gamma_2 \times h_2 \times K_{p3} + \gamma_3 \times Y \times K_{p3} + 2c_3\sqrt{K_{p3}} + \gamma_a \times (h_2 + Y)$$

Onde:

P_a : Pressão ativa horizontal

P_p : Pressão passiva horizontal

q : Sobrecarga

K_a : Coeficiente de empuxo ativo

K_p : Coeficiente de empuxo passivo

c : Coesão

γ_a : Peso específico de água

γ : Peso específico natural do solo

h : Espessura da camada do solo

Y : Espessura da camada do solo

A Figura 6 apresenta o diagrama resultante do método de Blum (1931) de pressões ativas e passivas em kN/m^2 que atuam na parede de contenção.

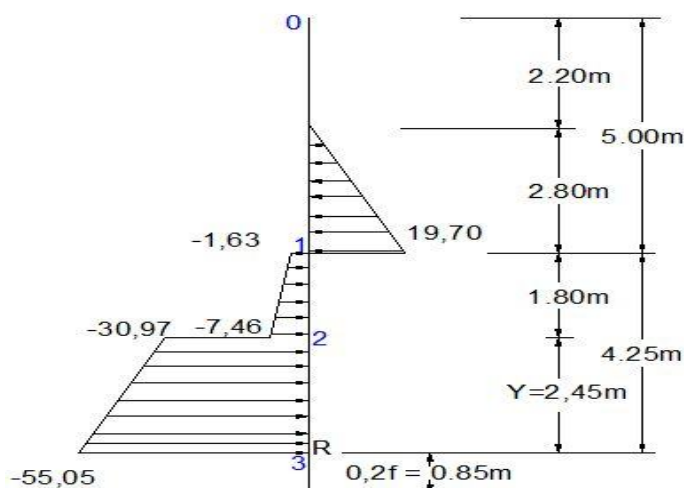


Figura 6: diagrama de pressões ativas e passivas (kN/m^2)

Nota: Para o cálculo da ficha (f) e dos esforços na estaca não foi considerado o empuxo negativo do solo atuante na parte escavada.

De posse do comprimento total da estaca, e das pressões atuantes, calculou-se os valores dos esforços momentos e dos esforços cortante ao longo da estaca. Foi utilizado o programa *Ftool*.

2.5. DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DAS ESTACAS

Para o dimensionamento dos esforços foram considerados três casos (Figura 7):

- A. Estacas engastadas na base;
- B. Estacas bi-apoiadas (na base e no topo);
- C. Estacas engastadas na base da escavação.

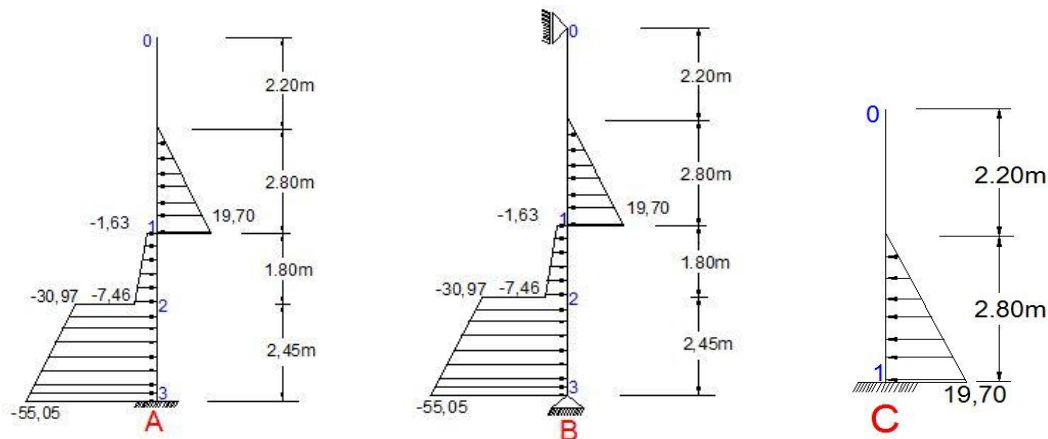


Figura 7: Diagrama de pressões (kN/m^2) para os casos A, B e C.

No dimensionamento, o esforço normal provocado pelo peso próprio da estaca foi considerado desprezível. Foi adotado um diâmetro de 31 cm para a estaca. O dimensionamento da armadura longitudinal foi feito, considerando a estrutura, como uma viga. Neste trabalho foram utilizadas fórmulas adimensionais Elaborada por Alessandro L. Nascimento e Libânio M. Pinheiro (2007), de acordo com a NBR 6118/2003.

$$K_s = f(K_c) \quad \text{Equação (1)}$$



$$K_c = \frac{b \times d^2}{M_d} \quad \text{Equação (2)}$$

$$A_s = \frac{K_s \times M_d}{d} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

K_c e K_s : Coeficientes adimensionais da Tabela Nascimento e Pinheiro (2007)

b : Largura da viga;

d : Altura útil da viga

M_d : Momento solicitante de cálculo

A_s : Área de armadura

O dimensionamento da armadura transversal foi realizado conforme o modelo de cálculo II da NBR 6118/2003.

Biela com inclinação $\theta = 45^\circ$

$V_c =$ diminui com o aumento de V_{sd} ;

$\alpha = 90^\circ$

Onde:

V_c : Parcela correspondente aos mecanismo interno resistente

V_{sd} : Força Cortante solicitante de cálculo

2.6. MÓDULO ELEMENTO DE CONTENÇÃO DO CYPE

Foi utilizado o programa comercial *Cype*. O módulo elemento de contenção do *Cype* foi desenvolvido para o dimensionamento e verificação de contenção periférica genérica de qualquer material, de paredes moldadas com o respectivo dimensionamento das armaduras, de cortinas de estacas de concreto armado, de estacas-pranchas metálicas e de microestacas. A análise do programa é não linear, considerando para o terreno e os elementos de apoio uma lei de comportamento *elastoplástica*. Também se realiza a verificação da estabilidade global (círculos de deslizamento).

Na utilização do programa é necessário definir a tipologia da cortina que se pretende adotar, nesse caso, é cortina de estaca de concreto (estaca raiz). Define-se as

propriedades do material (concreto), e as características do muro (altura inicial, diâmetro, cobrimento, distância entre os eixos das estacas, tipo de aço). Todas as condições impostas à escavação e ao projeto, como o fator de segurança, ângulos de atrito, peso específico, espessura de cada camada de solo, altura da escavação, nível d'água, sobrecarga no terreno e tipo de contenção, ou seja, todas as condições de contorno do projeto afetam os resultados.

Na fase de análise e cálculo o programa permite a inserção de fatores de segurança global e parcial, e a mudança da altura da ficha até que sejam satisfeitas todas as condições de segurança predefinidas. Determina ainda os esforços, a quantidade e o detalhe da armadura nas estacas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No cálculo manual e computacional foi aplicado um fator de segurança igual a 1,5 (NBR-6122/1996), para minoração do empuxo passivo. A Tabela 2 apresenta os valores da ficha calculada, da ficha com o acréscimo de 20%, o comprimento total e a diferença percentual entre os valores obtido no cálculo manual e computacional.

Tabela 2: Valores encontrados nos dois métodos

	Ficha	Ficha x 1,2	Comprimento Total da estaca
Computacional (Cype)	3,80 m	4,56 m	9,56 m
Manual	4,25 m	5,10 m	10,10 m
Diferença percentual	12%	12%	6%

Para a execução adotou-se 10m como comprimento total da estaca, em que 5 m estão em balanço e 5 m enterradas .

De posse do perfil estratigráfico estimado (Figura 5), e dos parâmetros geotécnicos dos solos que o constituem (Tabela 1), determinou-se o fator de segurança mínimo (FS_{min}) pelo método de Bishop Simplificado (1955), através do programa computacional Cype. O FS_{min} obtido foi de 2,646 (Figura 8), valor este maior do que o FS_{adm} estabelecido pela NBR-6122/1996, que é de 1,5.

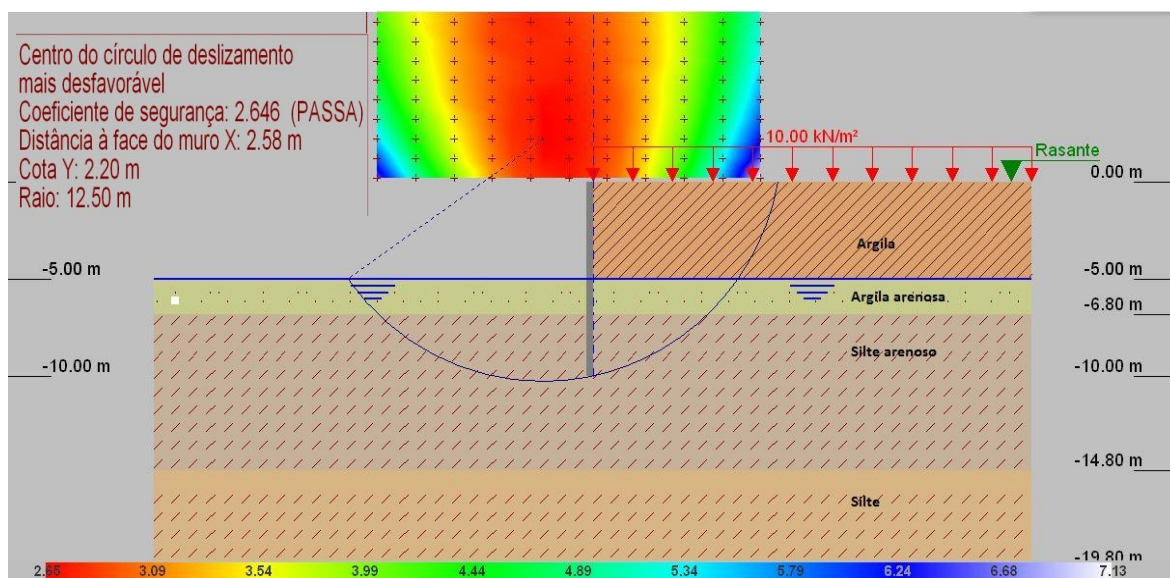


Figura 8: Análise global

O valor máximo de deslocamento no topo das estacas (Figura 9), utilizando o programa Cype foi de 40 mm, aceitável para esse tipo de obra.

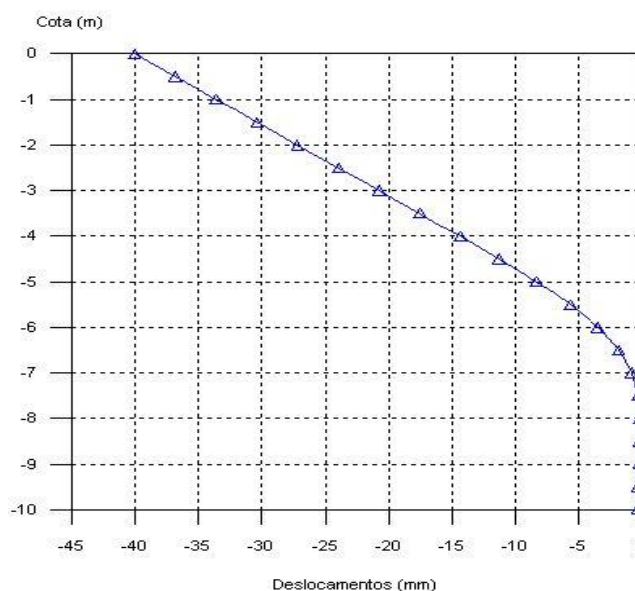


Figura 9: Diagrama do deslocamento com a profundidade

No cálculo dos esforços e da armadura pelo método manual foi considerado diferentes posições para o apoio da contenção (A, B, e C). Para o cálculo do programa computacional nomeou-se D para fins de comparação no gráfico da Figura 10.

- A. Estacas engastadas na base (fase de construção);
- B. Estacas bi-apoiadas na base e no topo (fase de serviço);
- C. Estacas engastadas na base da escavação;
- D. Situação do programa *Cype*.

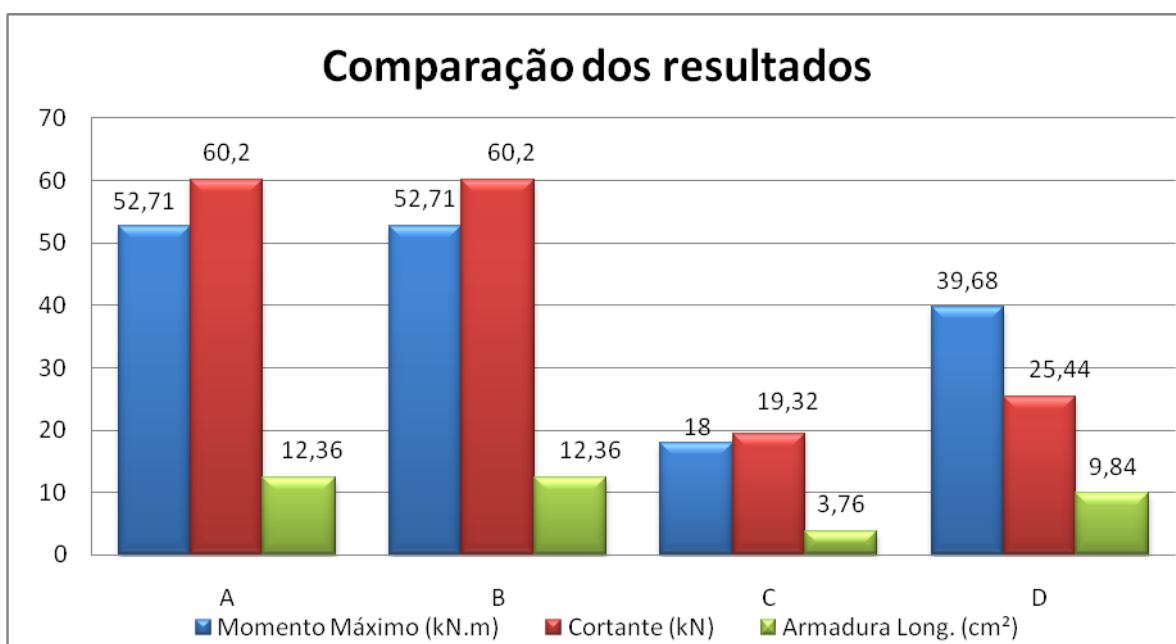


Figura 10: Gráfico comparativo dos momentos, cortante e armadura longitudinal.

Pelo gráfico da Figura 10 nota-se que para a condição A e B obteve-se maior momento ($52,71 \text{ KN.m}$) e conseqüentemente maior área de aço ($12,36 \text{ cm}^2$). A armadura transversal foi a mesma para todas as condições, isto é, $\emptyset 6,3 \text{ c}/10 \text{ cm}$. A Figura 11 apresenta o detalhe da armadura adotada para a estaca, a qual foi determinada tomando como base a condição A.

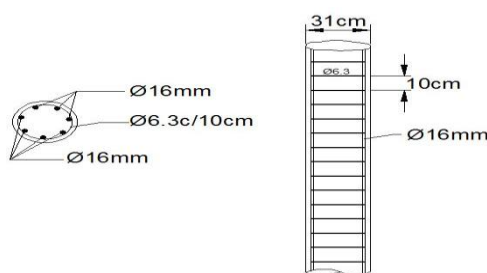


Figura 11: Detalhe da armadura.

3.1. ESTIMATIVA DE CUSTO

O custo para execução de contenção de uma escavação de 5 m de altura por 30 m de extensão, através de uma cortina de estacas raiz de 310 mm de diâmetro e 10 m de comprimento, com espaçamento entre eixos de 0,5 m, foi calculado em R\$175.390,85, valor este detalhado na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3: Preços de serviço para contenção com Estaca Justaposta

descrição de Serviço	Unid.	Quantidade	Custo R\$	
			Base 2011	
			Preço Unit.	Preço total
1 Estaca Justaposta				
1.1 Mobilização dos Equipamentos	U	1	8.000,00	8.000
1.2 Perfuração	m	600	140	84.000,00
1.3 Armação da estaca				
1.3.1 Armadura (φ6.3)	Kg	1335	14,17	18.916,95
1.3.2 Armadura (φ16)	Kg	2290	13,91	31.853,90
1.4 Injeção de argamassa (saca de 50 Kg)	Sc	1000	10,00	10.000,00
1.5 Cimento para injeção (saca de 50 Kg)	Sc	1000	22,00	21.000,00
1.6 Areia	m ³	60	27,00	1.620,00
			TOTAL	175.390,85

A Figura 12 apresenta a influência percentual no custo dos elementos intervenientes para execução da contenção com estaca Justaposta.

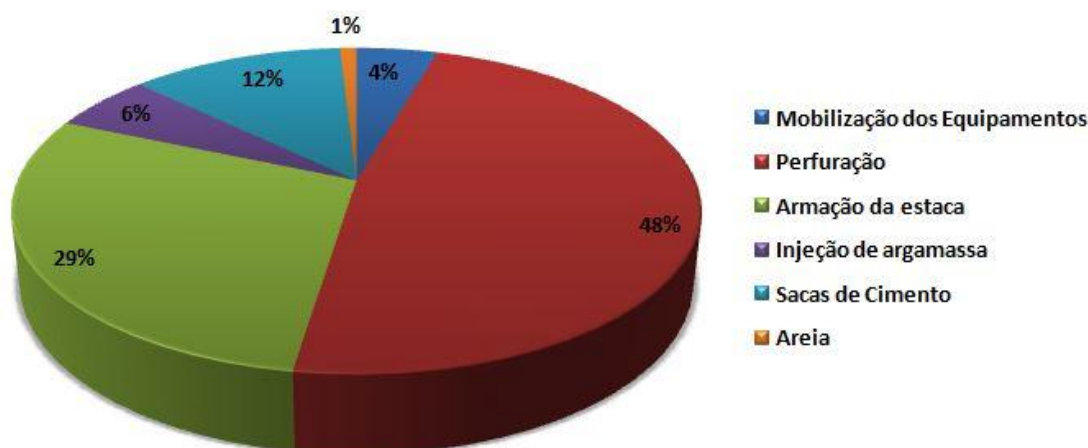


Figura 12: Gráfico da influência no custo.

Foi feito um cálculo do custo (Tabelas 4 e 5) de outras soluções para o mesmo problema com o objetivo de fazer-se uma análise comparativa. Na Figura 13 e 14 apresenta-se a influência percentual no custo dos elementos intervenientes para

execução da solução em Solo Grampeado com Concreto Projetado e Solo Grampeado com Cortina de Concreto respectivamente.

Tabela 4: Preços de serviço para contenção em Solo grampeada com Concreto Projetado

descrição de Serviço	Unid.	Quantidade	Custo R\$	
			Base 2011	
			Preço Unit.	Preço total
2 Solo Grampeado com Concreto Projetado				
2.1 Perfuração	m	638	120,00	76.560,00
2.2 Fornecimento, corte e instalação de barras de CA-50 A, pintura anticorrosiva e montagem com espaçadores a cada 1,5 m, diametro de 20 mm	m	638	35,30	22.522,00
2.3 Injeção de bainha e uma reinjeção (2tubos) de calda de cimento, através de válvulas manchete a cada 0,50 m (saca de 50 Kg)	Sc	957	10,00	9.570,00
2.4 Cimento para injeção (saca de 50 Kg)	Sc	957	22,00	21.054,00
2.5 Concreto projetado, via seca, com adição de fibras poliméricas, resistência de 4Mpa com 10 horas, Fck = 20 Mpa, espessura 8 cm	m ³	120	787,00	94.440,00
TOTAL			224.146,00	

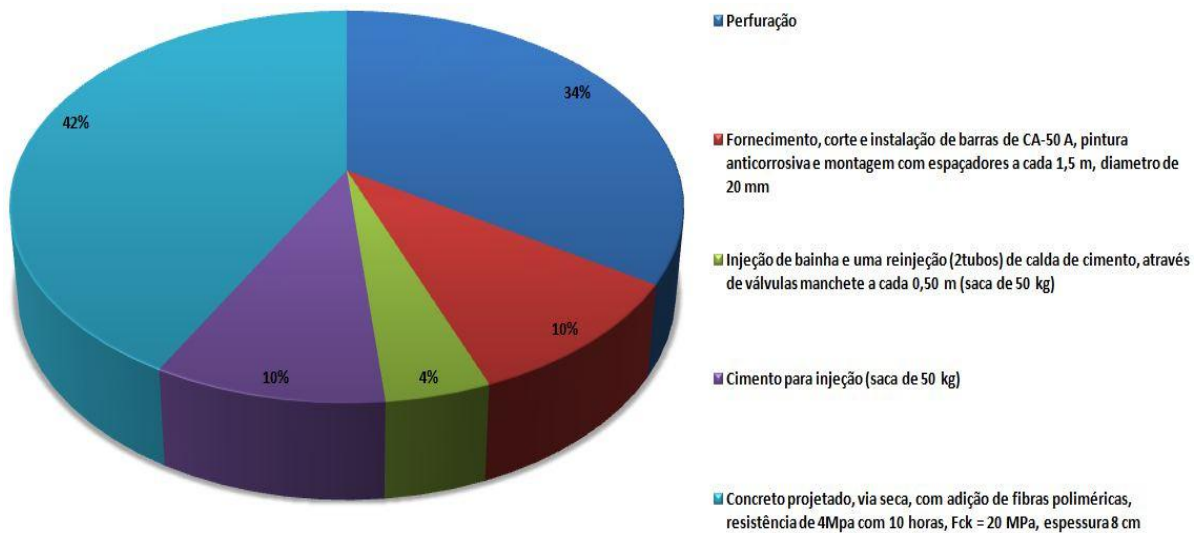


Figura 13: Gráfico da influência no custo em solo grampeado com concreto projetado

Tabela 5: Preços de serviço para contenção em Solo grampeado com Cortina de concreto Armado

descrição de Serviço	Unid.	Quantidade	Custo R\$	
			Base 2011	
			Preço Unit.	Preço total
3 Solo Grampeado com Cortina de concreto armado				
3.1 Perfuração	m	638	120,00	76.560,00
3.2 Fornecimento, corte e instalação de barras de CA-50 A, pintura anticorrosiva e montagem com espaçadores a cada 1,5 m, diametro de 20 mm	m	638	35,30	22.522,00
3.3 Injeção de bainha e uma rejeção (2tubos) de calda de cimento, através de válvulas manchete a cada 0,50 m	sc	957	10,00	9.570,00
3.4 Cimento para injeção (saca de 50 Kg)	Sc	957	22,00	21.054,00
3.5 Concreto	m ³	32	235,00	7.520,00
3.5 Armadura (ϕ 6.3)	Kg	1746	14,17	24.740,82
			TOTAL	161.966,82

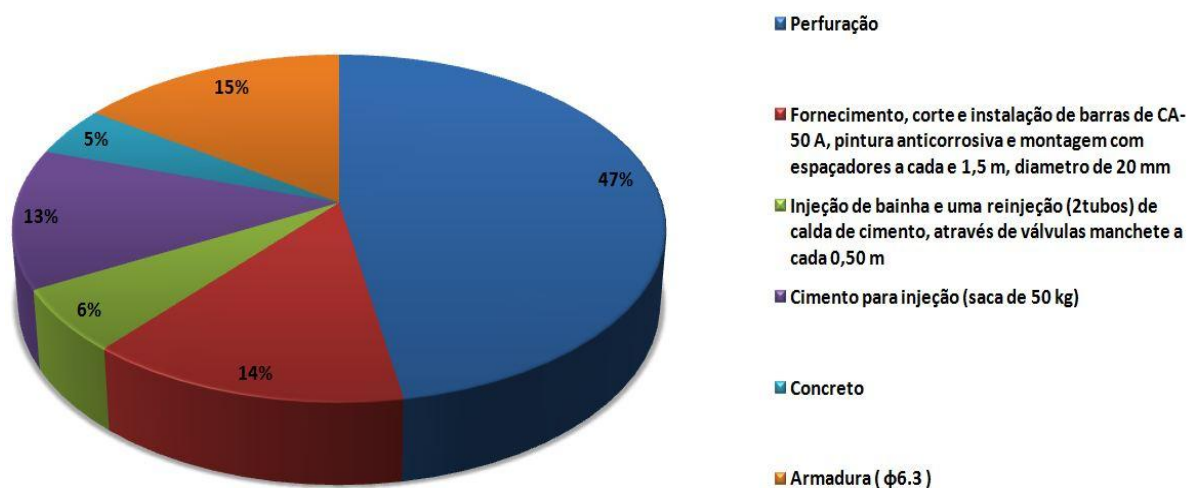


Figura 14: Gráfico da influência no custo em solo grampeado com cortina de concreto armado

Observa-se no gráfico da Figura 15 que o custo em Estaca Justaposta fica 8% acima do custo da solução em solo grampeado com cortina de concreto armado. Quanto a execução é importante salientar que a contenção em estaca Justaposta apresenta um processo executivo mais rápido quando comparado com as soluções em solo grampeado.

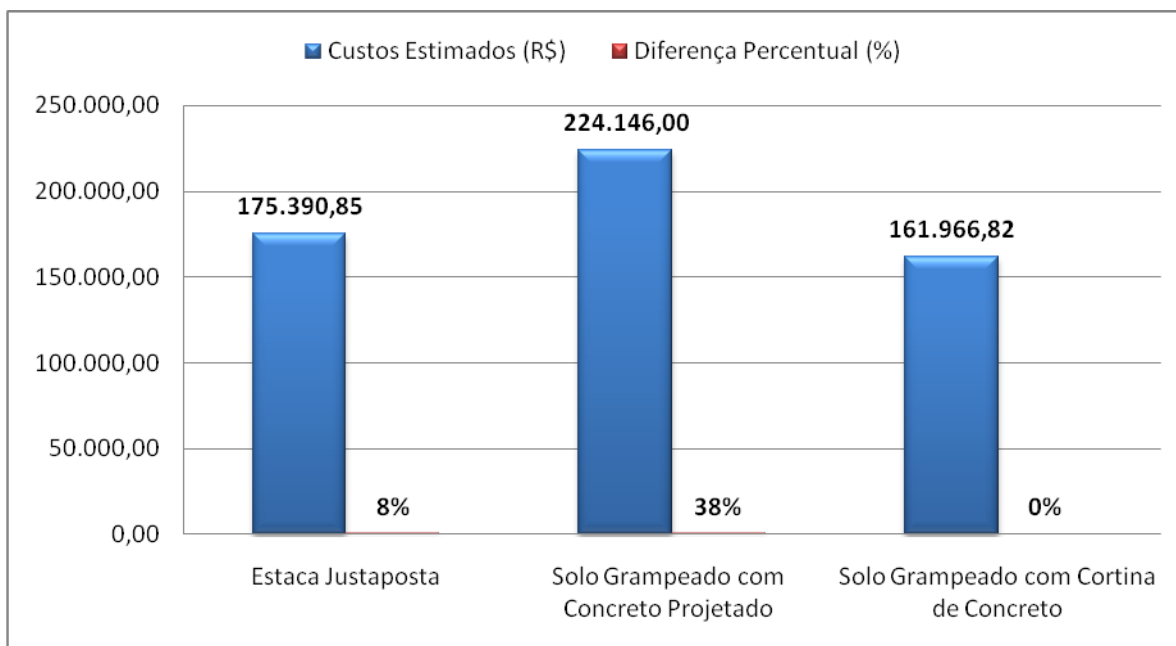


Figura 15: Custos estimados de Estaca justaposta; Solo grampeado com concreto Projetado e Solo grampeado com cortina de concreto.

4. CONCLUSÕES

A disponibilização dos resultados dos ensaios em laboratórios poderia conferir maior confiabilidade aos parâmetros do solo e conseqüentemente refinarem os valores obtidos do projeto.

O programa *Cype*, por utilizar o método dos elementos finitos além das equações de equilíbrio, considera a deformabilidade dos materiais envolvente, e a deslocabilidade da estrutura, onde a mesma é associada com os empuxos atuantes. Podemos concluir que as ferramentas computacionais agilizam e dão versatilidade ao projeto, devido ao estudo de diversos cenários e hipóteses de análise, em tempo adequado, à elaboração do mesmo.

Observou-se que os valores obtidos para ficha e para armação da estaca, pelo método de cálculo manual, foram mais conservadores que os obtidos pelo método computacional.

Na análise do custo do projeto em Estaca Justaposta observou-se que o processo de perfuração corresponde a 48% do custo total, gerando um impacto bastante significativo no custo.



A análise comparativa dos custos entre Estaca Justaposta, Solo Grampeado com Concreto Projetado e Solo Grampeado com Cortina de Concreto para o caso em questão, permite concluir que a solução em Estaca Justaposta não é apenas eficiente tecnicamente mas economicamente viável. Quanto a agilidade executiva, a solução em estaca Justaposta, apresenta-se muito mais vantajosa quando comparada com as demais soluções.

5. REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto**. Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

JOPPERT JUNIOR, Ivan. **Fundações e Contensões de Edifícios**: qualidade total na gestão do projeto e execução. São Paulo: PINI, 2007.

MARZIONNA, et al. **Fundações: teoria e prática**. 2.ed. São Paulo: PINI, 1998. ISBN PINI

MORRISON, Nelson. **Interação Solo-Estrutura: Semi-espço Winkler**. Dissertação de mestrado. Universidade Politécnica de *Catalunya*, Barcelona, Espanha. 1993