

Análise comparativa entre soluções para contenção, com muro de arrimo por gravidade e parede de contenção tipo Berlim definitivo.

André Felipe Cavalcanti Machado Botelho
UNICAP, Recife, Brasil, andrefelipe@agtopografia.com.br

Alfredo Nunes Silva Neto
UNICAP, Recife, Brasil, alfredonunes91@gmail.com

João Rodolfo Bulhões de Medeiros
UNICAP, Olinda, Brasil, rodolfo.bulhões@hotmail.com

Joaquim Teodoro Romão de Oliveira
UNICAP e UFPE, Olinda, Brasil, jtrdo@uol.com.br

RESUMO: Este artigo apresenta um estudo comparativo entre o muro de arrimo de alvenaria de pedra e a parede tipo Berlim para um caso de contenção e estabilização de encostas na cidade de Palmares, estado de Pernambuco, Brasil. Foi realizado estudo geotécnico do local através de sondagens SPT e ensaios de laboratório para determinação dos índices físicos. Os empuxos e as soluções foram calculados pelo método de Coulomb através do Software MDC. A estabilidade global foi calculada pelas proposições de Morgenstern & Price através do software SLOPE. As soluções foram comparadas em termos técnicos, econômicos e executivos. A parede Berlim se mostrou 40% mais barata que, com desempenho pouco superior a alvenaria de pedra, entretanto com algumas ressalvas construtivas.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade de Talude; Contenção; Muro de Arrimo; Parede de Contenção; Viabilidade; Custo.

1 INTRODUÇÃO

A estabilização de encostas é um problema corriqueiro no dia a dia da engenharia civil. Seja natural ou fruto da ação antrópica, taludes instáveis representam um perigo a sociedade e devem ser imediatamente combatidos com projetos adequados. Entre as soluções mais comuns, encontram-se as paredes (ou muros) de contenção.

FALCONI et al. (1998) define contenção como elementos estruturais com rigidez distinta do terreno que conterà, resistente aos esforços e empuxos provocados pelo solo. Existem diversas formas de contenções e a utilização deste ou daquele tipo varia de acordo com a

mão de obra empregada, materiais disponíveis e também da cultura local.

Por exemplo: no Brasil, RICARDO e CATALINI, (2007) afirmam que é comum o uso de contenções por gravidade para estabilizar taludes naturais ou provenientes de cortes e aterros. Já em Portugal, COUTO (2014) diz que a Parede Tipo Berlim é uma das soluções populares do país. Ora, a concepção do projeto é algo indefinido. Fica a critério do projetista e suas habilidades acumuladas ao longo dos anos. Não raro, a cultura local é um fator determinante na escolha da solução.

O problema existe quando se deixa de aplicar o estudo e a análise e se adota o comum como solução para qualquer ocasião. Muitos projetos

são concebidos no empirismo, acarretando em soluções de custo mais elevado que o necessário. A investigação e busca por soluções econômicas é fundamental, afinal é dever do engenheiro buscar construir melhor, com segurança, com o mínimo de impacto e custo possível.

Para ilustrar esta situação, este artigo irá estudar o caso de uma obra de estabilização no Brasil. Uma das soluções será o Muro de Arrimo de Alvenaria de pedra, bastante comum na região onde o projeto será executado. A outra, a parede do tipo Berlim pouco utilizada no país. Serão comparadas os custos e modelos executivos envolvidos na solução, bem como seu desempenho. Dessa forma, será possível observar a viabilidade de se aplicar conceitos e técnicas pouco conhecidas em determinadas localidades ao invés dos métodos tradicionais.

2 CARACTERIZAÇÃO DA OBRA

A área estudada localiza-se no Município de Palmares, Estado de Pernambuco, Brasil. Trata-se de um talude de aterro, do empreendimento Quilombo dos Palmares, do programa habitacional do governo federal Minha Casa Minha vida para pessoas de baixa renda conforme é possível observar na Figura 1.



Figura 1. Localização do Empreendimento.

O talude em questão possui aproximados quinze metros de altura e trezentos e trinta metros de comprimento. O mesmo apresenta

inclinação direta na proporção 1/1. É formado por aterro proveniente do solo local, composto por camadas de argila siltosa. Sua execução deu-se no ano de 2011.

A vegetação do mesmo é composta de capim vetiver (*Vetiveria zizanioides*), parcialmente coberta. É possível notar falhas no recobrimento devido ações antrópicas e naturais. As condições de drenagem e o solo dificultam o recobrimento pleno da área conforme observado na figura 2.



Figura 2. Vista Lateral do Talude estudado.

Toda a drenagem do empreendimento é superficial. Desta forma, uma bacia considerável desagua no talude em um único ponto. Tal volume causou uma ravina, definida por GERSCOVICH (2012) como a erosão cujo principal agente é o escoamento superficial de água causando sucros no terreno e depositando matéria a jusante do mesmo. As ravinas indicam sinal de intensa degradação do solo local e é um dos indícios da má estabilidade da região (ALBUQUERQUE, 2006).

3 ESTUDO GEOTÉCNICO

O estudo geotécnico foi baseado em Sondagens SPT e Ensaio de Laboratório. Os furos foram distribuídos ao longo do pé do talude a uma distância média entre os mesmos. Um dos furos foi realizado no pé da Ravina, próxima ao centro do talude e os demais próximos as pontas (Ver Figura 3). A perfuração destes atingiu a profundidade de 13 metros. A última sondagem foi realizada na crista do talude de modo a se permitir avaliar o material constituinte do aterro.

Faixa			
Granulométrica	F/F	F/F	F/F
(ASHTO)			

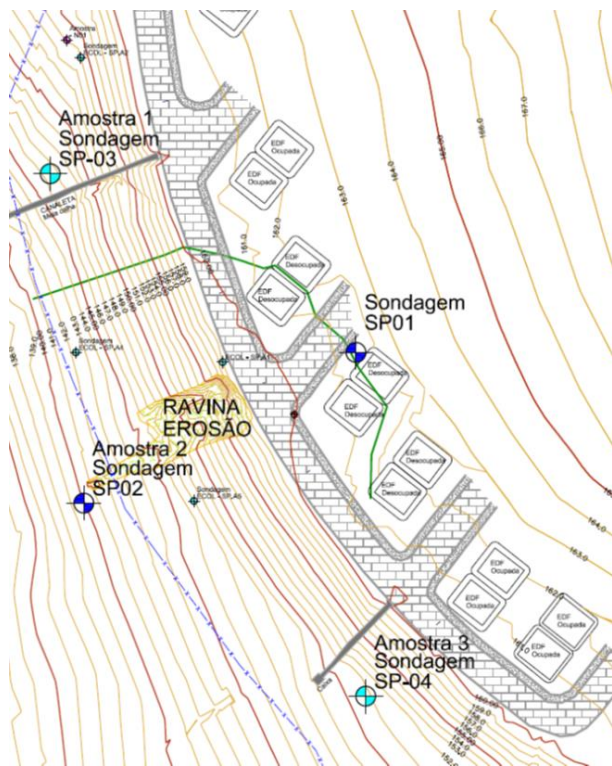


Figura 3. Localização das amostras coletadas (Planta de Topografia.)

3.1 Ensaios de Laboratório

As amostras coletadas foram levadas a laboratório no qual realizou-se os ensaios para determinação dos principais índices físicos. Foram mensurados a Granulometria, a Compactação e os Limites de consistência.

A granulometria foi determinada por peneiramento e sedimentação devido à grande incidência de finos no solo. O ensaio foi executado conforme a NBR 7181/1984 - Análise Granulométrica. Os resultados dos ensaios podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Ensaios de Granulometria

Amostras	1	2	3
Pedregulho	0,00%	0,20%	0,10%
Areia Grossa	0,20%	1,10%	0,20%
Areia média	8,30%	11,30%	8,70%
Areia Fina	23,20%	22,20%	24,30%
Site+ Argila	68,30%	65,20%	66,70%

A compactação foi determinada a partir do ensaio Proctor com energia normal de acordo com a NBR 7182/1986 – Ensaio de Compactação.

Os índices de consistência foram determinados pelos ensaios de limites de liquidez e plasticidade que seguiu a NBR 6459/1984 – Limites de Liquidez e NBR 7180/1984 – Determinação do Limite de Plasticidade. Foi realizada a classificação do material pela ASHTO. Os resultados dos ensaios nas três amostras podem ser observados na tabela 2, conforme relatório de estudo geotécnico do empreendimento.

Tabela 2. Ensaios de Compactação, Limites de Consistência e Classificação ASHTO e por textura.

Amostra	1	2	3
Limites de Liquidez (LL%)	33	46	44
Limites de Plasticidade (LP%)	22	24	23
Índice de Plasticidade (IP%)	11	22	21
Densidade Máxima (kN/m³)	17	16,7	16,6
Umidade Ótima (%)	17,6	19	19,8
Classificação por Textura	Argila Siltosa	Argila Siltosa	Argila Siltosa
Classificação TRB (ASHTO)	A-6	A-7-6	A-7-6

3.2 Sondagens SPT

As perfurações foram sondagem geotécnica de simples reconhecimento, usando tubos de revestimento com diâmetro interno de 63,5 mm e com auxílio de circulação d'água ou lama bentonítica para avanço de perfuração. Todos os procedimentos foram executados de acordo com NBR – 6484/2001 (Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio) descrito na ABNT. Na Figura 4 é possível observar o perfil de sondagem do furo SP-02, principal referência do estudo.

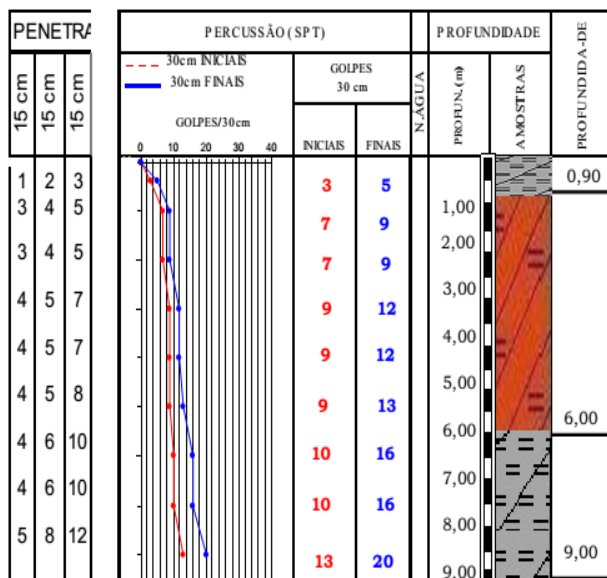


Figura 4. Perfil da Sondagem SP-02

O ângulo de atrito e a coesão foram estimados por relações dos parâmetros com o NSPT conforme as proposições de Gibbs e Holtz, apresentado por SCHNAID (2000). Com a densidade dos solos, retiradas da Tabela 2 e a profundidade das camadas, calcula-se a tensão efetiva horizontal ($\sigma' h$). Após obter tal valor, calcula-se a Densidade Relativa (D_r) pela equação 1 e logo após o ângulo de atrito (ϕ) pela Equação 2.

$$D_r = \left(\frac{NSPT}{(0,23\sigma' h + 0,27)} \right)^{1/2} \quad (1)$$

$$(1,49 - D_r) \tan \phi = 0,712 \quad (2)$$

Na tabela 3, demonstra-se os parâmetros de camada de Solo encontrada nas prospecções.

Tabela 3. Parâmetros das Camadas de solo analisadas.

SOLO	Peso específico (kN/m³)	Coesão (kN/m²)	Ângulo de Atrito (°)
Argila Siltosa Laranja Rija a Mole	17	0,0029	16,5
Argila Siltosa Laranja Média a Mole	15	0,0015	24,3
Argila Siltosa Arena Cinza escuro Mole	19	0,0093	20
Argila Siltosa Laranja com Areia Fina Rija	21	0,0142	39,6
Argila Siltosa Vermelha com Areia Fina Rija a Dura	21	0,0142	39,6

3.3 Considerações acerca da geotecnia da área

Observa-se que o solo foi classificado como A-6 e A-7-6. Trata-se de material granular, muito fino, com baixa capacidade de suporte e resistência que apresenta grande variação de volumes e vulnerabilidade a água. (SENÇO, 2008)

É notável a baixa resistência do terreno com o SPT variando entre 3 e 5. Apenas atinge níveis aceitáveis para suporte a uma estrutura de contenção aos 7 metros de profundidade quando o SPT ultrapassa os 10 e mantém-se crescente até atingindo os 29 aos 13 metros. Dessa forma, torna-se inviável utilizar fundações superficiais para as contenções que serão projetadas.

Nas mesmas camadas citadas acima é que a coesão e o ângulo de atrito passaram também a crescer a níveis aceitáveis.

Durante a prospecção, também se observou a inexistência de lençol freático. Dessa forma, a água presente no solo é proveniente da infiltração pela chuva. Durante o processo de sondagem, a água utilizada para lavar o furo não retornava, o que demonstrou um grande índice de vazios. Índícios de que o solo foi mal compactado durante a execução do aterro, sofrendo recalques e perdendo estabilidade.

4 METODOS E DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES

Considerando o estudo geotécnico apresentado, foram adotadas soluções geotécnicas e de contenção a partir de:

a) um corte escalonando o terreno para receber o aterro de retaludamento. Tal corte se faz necessário para retirar o material mal compactado, criar platôs para as máquinas trabalharem e permitir que o novo aterro se integre ao terreno, evitando destacamentos e deslizamentos.

b) O reaterro do Talude em inclinação propícia (1/2) e a cada cinco metros de altura adota-se uma berm de dois metros de largura. Dessa forma estabiliza-se a área. (RICARDO e CATALINI, 2007)

c) devido as bermas e a nova inclinação do talude, houve avanço no espaço e, por conseguinte, a necessidade de conter o talude próximo aos limites do terreno. No projeto original, foi proposto a construção de um muro de arrimo de alvenaria de pedra.

d) Recobrimento da área com biomanta e hidro-semeadura e construção de um sistema de drenagem superficial e a drenagem interna do muro de arrimo para águas que por ventura venham a se infiltrar no solo.

Uma vez que o objetivo deste estudo é comparar as soluções de contenção foi considerado que todas as demais proposições estão exatamente no mesmo local e cota. Ou seja, os custos e processos envolvendo a terraplenagem, a drenagem superficial e o recobrimento vegetal da área serão os mesmos. Assim, o grande diferencial para o custo final da obra será justamente a escolha do Muro de Alvenaria de Pedra ou da Parede Berlim.

4.1 Muro de Alvenaria de Pedra

Trata-se da solução adotada pelos projetistas para estabilizar o talude deste estudo. A estrutura funciona por gravidade, isto é, que se opõe aos esforços do terreno pelo próprio peso (MOLITERNO, 1994).

É constituído de pedras rachão ligadas por argamassa de cimento e areia no traço 1:3. É bastante comum o uso dessa estrutura como solução definitiva na região onde o projeto será executado, entretanto apresenta custo elevado. Para o cálculo, está sendo considerado a densidade do material variando entre 24 e 27 kN/m³.

Esta solução foi calculada através do método de Coulomb. Nesta teoria o terrapleno é considerado um maciço indeformável, mas que se rompe segundo superfícies curvas as quais se admitem planta por conveniência (CAPUTO, 2015). Por meio de Coulomb foi possível calcular o Empuxo Ativo (Ea) através da equação 3.

$$E_a = \frac{1}{2} \times k_a \times \gamma_{\text{terreno}} \times (H^2 - h_o^2) \quad (3)$$

Na equação acima Ka representa o coeficiente de empuxo ativo de Coulomb, Yterreno o peso

específico da camada, H a altura do muro e ho a altura do tardoz.

O momento resultante externo é, então, calculado pela equação 4 no qual Ea é o empuxo ativo calculado pela equação 3, y' é o braço de alavanca do ponto de aplicação.

$$M_e = E_a \times y' \quad (4)$$

O momento resistente (Mr) é calculado pela equação 5 no qual N é a força normal do muro, calculada a partir do peso específico dos materiais e y' o braço de alavanca de seu ponto de aplicação.

$$M_r = N \times y' \quad (5)$$

As fundações do muro de Alvenaria de Pedra foram dimensionadas como estacas escavadas pelo método de no qual se calculou a Resistencia Lateral e a de Ponta por AOKI e VELLOSO (1975). Foram consideradas estacas escavadas de concreto. Ainda se seguiu a orientação de ARAÚJO (2014) recomenda que em blocos rígidos o espaçamento máximo entre as estacas seja inferior à o triplo do diâmetro.

Assim, foi considerado uma estaca a cada 1,5 metros de comprimento da base de fundação do muro de arrimo. As estacas foram cravadas até a profundidade de 10 metros de modo a engastar-se ao menos um metro na camada de solo mais resistente. A partir dos métodos citados, calculou-se as dimensões mínimas do muro para resistir aos esforços, apresentadas na figura 5.

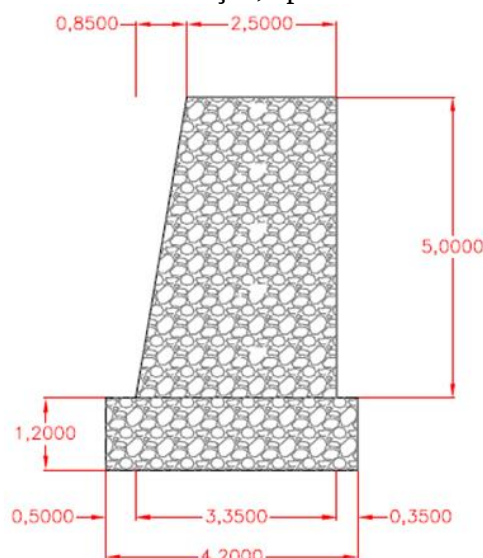


Figura 5. Dimensões do Muro de Arrimo (Software MDC)

4.2 Parede do Tipo Berlim

“As paredes do tipo Berlim são estruturas de contenção de terras constituídos por perfis metálicos cujo espaçamento é definido em função da altura entre os quais se colocam pranchas de madeira ou painéis de concreto armado” (CHUVA, 2011). Tais contenções são bastante populares na Europa.

Este tipo de contenção atua como uma cortina de estacas, entretanto não são justas postas. São cravados perfis metálicos em I ou H até profundidade desejada. O mesmo perfil irá trespassar o terreno até a altura da contenção, atuando como um pilar e conferindo flexibilidade a estrutura. Na solução definitiva, os espaçamentos entre as estacas recebem armaduras e são preenchidas por concreto.

As paredes tipo Berlim são flexíveis, isto é seu próprio peso é desprezível frente as outras forças atuantes. Elas podem ou não receber tirantes. Caputo (2015) afirma que o uso de tirantes dependerá da altura da contenção e do quanto os perfis serão cravados no solo.

A parede do tipo Berlim é dimensionada como uma estrutura mista de concreto armado e aço. Para cálculo da mesma, foi utilizado o Software MDC que aplicou os métodos os Estados limites últimos, a partir do normativa EUROCODE 7, chegando a área de aço necessária apresentada na figura 6.

Considerou-se estacas prancha em perfil tipo H a cada 1,5 metros no terreno. A profundidade que as estacas serão cravadas é de 10 metros e a parte acima do solo para conter o talude 5 metros, perfazendo a mesma altura e profundidade dos muros de arrimo. As dimensões da peça de concreto e as armaduras necessárias encontram-se na Figura 6.

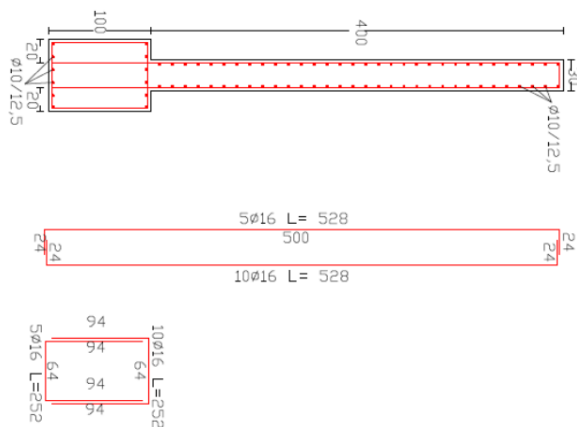


Figura 6. Dimensões e Ferragens da Parede Tipo Berlim

4.3 Cálculos dos Fatores de Segurança e da Estabilidade Global

As soluções finais das estruturas foram calculadas no Software MDC, representado pela Arkissoft. Os resultados alcançados encontram-se dispostos no item 5.

Para o cálculo da Estabilidade Solo-Estrutura foi utilizado o método de Morgenstern & Price. Segundo GERSCOVICH (2012), este método foi apresentado em 1965 e estabelece todas as condições de equilíbrio e de fronteiras, permitindo moldar-se a superfície de ruptura com qualquer forma. Ele consiste em dividir o talude e a estrutura em fatias infinitesimais. Devido a isto, é necessário o uso de recursos computacionais.

Para tal, utilizou-se o software SLOPE no qual foram geradas as análises dos coeficientes de segurança. Considerou-se cargas de 12000kg e 55300kg no topo do talude, respectivamente correspondentes a uma estrada e casa popular existentes no local. As superfícies de ruptura, a locação das soluções, as cargas atuantes e o perfil do terreno encontram dispostos nas Figuras 7 e 9. Na tabela 4 são apresentados os fatores de segurança globais da interação solo-estrutura.

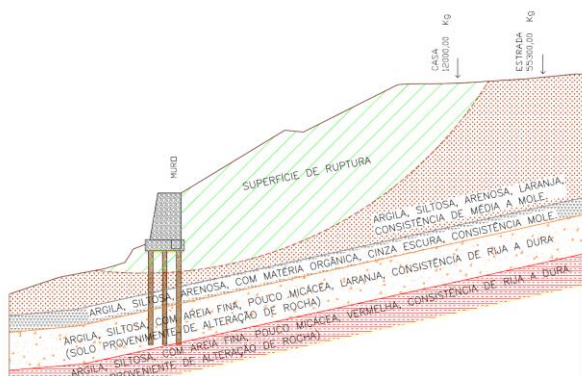


Figura 7. Estabilidade Global do Muro de Alvenaria de Pedra por Morgestern e Price (Software SLOPE)

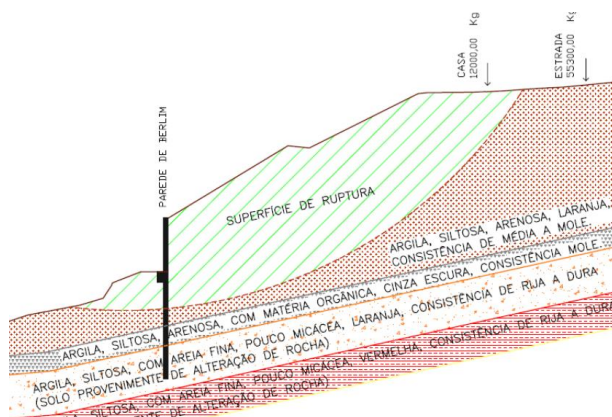


Figura 8. Estabilidade Global da Parede Berlim por Morgestern e Price (Software SLOPE)

Tabela 4. Fatores de Segurança Globais Fornecidos pelos softwares.

Fatores de Segurança	Muro de Alvenaria De Pedra	Parede Berlim Definitiva
Tombamento (MDC)	1,87	2,05
Escorregamento (MDC)	2,24	1,72
Fundações (MDC)	4,27	6,12
Estabilidade Global (SLOPE)	1,98	2,05

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 Fatores Técnicos

O custo de execução de cada solução foi calculado baseado nas composições do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) com cotações do mês novembro de 2015. A tabela 5 apresenta os valores em Reais.

Tabela 5. Custo das Soluções.

Solução	Custo da Solução R\$	Diferença Percentual
Alvenaria de Pedra + fundações.	2.038.553,7	Aproximadamente 40% de diferença no custo de execução
Parede Berlim Definitiva	1.220.478,3	

Observou-se 40% de redução no custo caso opte-se pela parede Berlim. Segundo MOLITERNO (1994), a viabilidade econômica de se usar o muro de arrimo de alvenaria de pedra é menor quanto maior for a altura. Segundo ele, Muros entre 2 e 3 metros ainda são bastante competitivos com outras soluções. As soluções apresentadas foram concebidas com 5 metros de altura.

Outro fator determinante é a espessura nos muros. A alvenaria de pedra necessita de espaço cerca de 10 vezes maior. Por consequência, no uso da Parede Berlim há diminuição do volume de materiais necessários para a execução.

O ganho de espaço da parede Berlim é extremamente útil em situações urbanas de relevo acidentado no qual não conta com áreas amplas. No caso estudado é possível, por exemplo, aproveitar este espaço para aumentar o retaludamento e diminuir a altura da contenção.

5.2 Fatores Executivos

Uma das principais motivos pelos quais os engenheiros se atem a cultura local é a mão de obra. Procurar profissionais mais capacitadas ou treinar pessoal para executar uma nova solução pode ser dispendioso ou acarretar em má execução. A disponibilidade de materiais também pode prejudicar a logística da obra elevando os custos.

COUTO (2014) afirma que a Parede Berlim é simples de ser executada e não

necessita de mão de obra muito especializada. As etapas executivas não são diferentes de quem já executou blocos de concreto armado apoiados em estacas metálicas. Couto (2014) ainda afirma que o volume de serviço é bem menor uma vez que se diminui bastante a área de volume de escavação e concretagem.

Entretanto, a disponibilidade de materiais pode não favorecer. Por exemplo, no local analisado foi verificado que não há concreteiras próximas. Além disto a obra é de difícil acesso o que pode atrapalhar bastante as concretagens. O fato de estar em uma encosta íngreme e em risco pode inviabilizar a entrada do equipamento de bate estaca e a cravação das mesmas. Outros trabalhos também podem apresentar dificuldades, tais quais a montagem de formas, colocação das armaduras, etc.

É possível que seja necessário montar uma boa estrutura logística para a correta execução da solução, o que acarretaria em diversos serviços preliminares que podem elevar o custo tornando mais prático a opção padrão da região.

Executar a alvenaria de pedra, por outro lado, apesar de existir boa disponibilidade de material na região e não depender de tantos fatores como os citados acima pode consumir um tempo muito superior. Cada caso deve ser estudado e planejado a parte

6 CONCLUSÕES

Conclui-se que o solo do empreendimento requer cuidados. O mesmo é fino, plástico e apresenta grandes variações de volume. O empreendimento demandará tráfego de veículos e pessoas e isto poderá acarretar recalques diferenciais. Apenas a solução de contenção não é suficiente para reduzir o risco. É interessante que se faça mais estudos para determinar se o mesmo é expansivo, o CBR e os demais parâmetros necessários para se adequar a pavimentação, drenagem e os demais serviços necessários.

Para o caso analisado em questão, a Parede do tipo Berlim mostrou-se mais viável financeiramente ao reduzir o custo das soluções em 40%. Comparada aos demais serviços executados (escalamento, reaterro,

drenagem), o custo da solução de contenção representa cerca de 50% do valor total da obra. Apresentou também melhor desempenho técnico. Seus fatores de segurança foram superiores, garantindo mais segurança. Apesar de não necessitar de mão de obra especializada, ainda apresenta alguns problemas que podem dificultar sua execução.

A experiência profissional e o empirismo são, de fato, importantes. Entretanto, cada obra de engenharia é uma atividade multidisciplinar única com seus próprios agentes, causas e consequências. Não se pode generalizar alternativas, é necessário o estudo individual.

REFERÊNCIAS

- Albuquerque, F. N. B. D (2006). *Agentes, processos e feições erosivas em voçorocas conectada à rede de drenagem do rio coreu, Ceará. Casa da Geografia de Sobral*, Sobral, v. 8/9, n. 1, p. 11 a 20.
- Aoki, D. A.; Velloso, N (1975) *An approximate method to estimate the bearing capacity piles*. Buenos Aires: *Proceedings 5th Pan. Conf. on Soil Mech and Found. Eng.*
- Araújo, J. M. D. (2014) *Curso de Concreto Armado*. 4°. ed. Rio Grande: *Dunas*, v. IV.
- Caputo, H. P. (2015) *Mecânica dos Solos e Suas Aplicações*. 7°. ed. Rio de Janeiro: *LTC Editora*, v. II.
- Chuva, F. A. C. D. R. (2011) *Análise de um muro de suporte de terras*. Rio de Janeiro: [s.n.]
- Couto, P. M. F. (2014) *Estudo de soluções de contenção periférica em função das condicionantes de execução*. Lisboa: *Instituto Superior de Engenharia de Lisboa*.
- Gerscovich, D. M. S. (2012) *Estabilidade de Taludes*, 1° Ed. São Paulo: *Oficina dos Textos*.
- Moliterno, A. (1994) *Caderno de Muros de Arrimo*. 2°. ed. São Paulo: *Edgard Blucher*.
- Ricardo, H. D. S.; Catalini, G. (2007) *Manual Prático de Escavação*. 3°. ed. São Paulo: *Pini*.
- Schnaid, F. (2000) *Ensaio de Campo e Suas Aplicações a engenharia de Fundações*. São Paulo: *Oficina dos Textos*.
- Senço, W. D. (2008) *Manual de Técnicas de Projetos Rodoviários*. 1°. ed. São Paulo: *Pini*.