

Execução de Colunas de DSM na Estabilização de Muro de Solo Reforçado para Expansão de um Aterro Sanitário

Pedro Gomes dos Santos Pereira

Engenheiro geotécnico, JETsj Brasil Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, ppreira@jetbr.eng.br

Fabio Silva

Engenheiro geotécnico, JETsj Brasil Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, fsilva@jetbr.eng.br

Anderson Dantas de Moraes

Engenheiro geotécnico, JETsj Brasil Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, amoraes@jetbr.eng.br

Nuno Braz da Silva

Engenheiro geotécnico, JETsj Brasil Engenharia, Lisboa, Portugal, nsilva@jetbr.eng.br

Fábio Brumano

Engenheiro geotécnico, Tecnogeo Ground, São Paulo, Brasil, fabio.brumano@tecnogeo.com.br

RESUMO: O Brasil enfrenta grandes desafios na gestão de resíduos sólidos, especialmente em áreas urbanas densas. A Central de Tratamento de Resíduos Leste (CTL), em São Paulo, inaugurada em 2010, recebe cerca de 7 mil toneladas diárias e está em expansão. Para isso, será construído um muro de solo reforçado, viabilizando o alteamento do aterro. Devido aos solos de baixa resistência identificados por sondagens Standard Penetration Test - SPT ($NSPT < 5$), adotou-se a técnica de Colunas de Solo-Cimento (Deep Soil Mixing - DSM) para melhorar as características geotécnicas da fundação. As colunas, com 90 cm de diâmetro, foram distribuídas em duas malhas com comprimentos variáveis, conforme as exigências estruturais exigidas. A escolha dessa solução considerou o desempenho a longo prazo do aterro, a mitigação de recalques diferenciais e a melhoria da capacidade de carga do solo. As análises numéricas confirmaram o atendimento aos critérios de estabilidade global e deformações admissíveis, assegurando os Estados Limites Últimos (ELUs). A solução com DSM mostrou-se eficaz e tecnicamente viável para viabilizar a ampliação segura do aterro, mesmo em condições geotécnicas desafiadoras.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro Sanitário; Deep Soil Mixing; Estabilidade de Taludes; PLAXIS 2D; Tensão-deformação.

ABSTRACT: Brazil faces significant challenges in solid waste management, particularly in densely populated urban areas. The East Waste Treatment Center (Central de Tratamento de Resíduos Leste - CTL) in São Paulo, inaugurated in 2010, currently receives approximately 7,000 tons of waste per day and is undergoing expansion. To accommodate this, a mechanically stabilized earth (MSE) wall will be constructed to enable the landfill's vertical extension. Due to the presence of low-strength soils identified through Standard Penetration Test - SPT ($NSPT < 5$), the Deep Soil Mixing (DSM) technique was adopted to improve the geotechnical characteristics of the foundation. The DSM columns, 90 cm in diameter, were arranged in two grids with variable lengths, adapted to local structural demands. This solution was selected considering the landfill's long-term performance, reduction of differential settlements, and increased bearing capacity. Numerical analyses confirmed compliance with global stability and deformation criteria, meeting Ultimate Limit States (ULS). The DSM solution proved effective and technically feasible for safely enabling the landfill's expansion under challenging geotechnical conditions.

KEYWORDS: Sanitary Landfill; Deep Soil Mixing; Slope Stability; PLAXIS 2D; Stress-Strain Analysis

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por soluções eficientes no gerenciamento de resíduos sólidos tem levado à expansão dos aterros sanitários, que frequentemente necessitam de alteamentos para ampliar sua capacidade operacional. No entanto, o aumento da altura desses aterros impõe muitos desafios geotécnicos, especialmente relacionados à estabilidade e à capacidade de suporte das fundações das estruturas de contenção. Neste contexto, o presente trabalho aborda o projeto de melhoramento do solo de fundação subjacente a um muro de solo reforçado a ser construído no aterro sanitário da Central de Tratamento de Resíduos Leste (CTL), localizado em uma região com presença de depósitos de solos pouco competentes. A estrutura de contenção foi dimensionada para suportar os carregamentos decorrentes das futuras etapas de alteamento do aterro, sendo fundamental garantir a estabilidade do muro e a segurança da operação.

Para atender os requisitos necessários para o projeto, foi adotada a técnica de Deep Soil Mixing (DSM), que consiste na formação de colunas de solo-cimento que aumentam as propriedades mecânicas do solo natural. Essas colunas deverão ser implantadas a partir da base do muro, promovendo uma fundação reforçada capaz de suportar os esforços de cisalhamento impostos pelo alteamento, bem como os esforços de compressão impostos pelo muro de solo reforçado. Além disso, para otimizar a transferência de carga entre as colunas, foi projetada uma plataforma de distribuição de cargas que assegura uma transferência mais uniforme e equilibrada das tensões para as colunas de DSM. O desenvolvimento do projeto incluiu a caracterização e elaboração do perfil geológico-geotécnico da área, a partir de ensaios Standard Penetration Test (SPT) e da estimativa dos parâmetros geotécnicos por métodos empíricos, na ausência de ensaios especiais. Foram definidos os critérios técnicos para a execução das colunas DSM, considerando tanto a resistência do solo-cimento quanto as características geométricas da solução e restrições impostas pela área de licenciamento ambiental. Ainda, foram realizadas modelagens numéricas da interação solo-estrutura, utilizando modelos constitutivos elástico perfeitamente plásticos e elasto-plásticos. As análises numéricas permitiram avaliar deslocamentos verticais e horizontais e esforços internos nas colunas, bem como realizar as verificações de segurança necessárias para garantir a estabilidade da fundação.

Este artigo apresenta os aspectos principais do projeto, desde a concepção técnica até os resultados das análises, demonstrando a eficácia da solução proposta para o reforço do solo de fundação em um cenário desafiador.

2 CARACTERÍSTICAS DE PROJETO

2.1 Localização

A Central de Tratamento de Resíduos Leste está localizada na estrada do Sapopemba, na cidade satélite Santa Bárbara, no município de São Paulo-SP. A CTL encontra-se próxima à divisa com o município de Mauá. Inaugurado em novembro de 2010, o CTL recebe cerca de 7 mil toneladas de resíduos domiciliares por dia, operando em conjunto com a EcoUrbis, empresa responsável pelo atendimento das regiões leste e sul da cidade de São Paulo. A infraestrutura da CTL inclui a gestão e tratamento de chorume e a geração de biogás. A área específica onde será realizado o reforço de fundação do muro de solo reforçado está localizada no trecho destinado ao alteamento do aterro.

2.2 Contexto do projeto

A necessidade de implantação do muro de solo reforçado está diretamente relacionada à expansão do aterro sanitário da Central de Tratamento de Resíduos Leste (CTL), cuja área operacional encontra-se próxima à faixa de domínio de uma empresa pública terceira. Para viabilizar o alteamento do aterro e atender às cotas previstas no projeto geométrico de expansão, é necessária a construção de um muro de solo reforçado com geogrelhas, cuja altura pode atingir até 6 metros em seu ponto mais elevado. A função principal desse muro é garantir a contenção dos resíduos sólidos, assegurando que o corpo do aterro permaneça dentro dos limites físicos previamente estabelecidos. As investigações geotécnicas realizadas na área de implantação do muro permitiram a identificação da presença de solos de baixa resistência na fundação. Essas condições representam um risco potencial de recalques excessivos e instabilidade global, podendo comprometer a integridade da estrutura de contenção se nenhuma medida de reforço for adotada.

A implantação do muro encontra-se ainda condicionada por fatores externos importantes. A proximidade com a referida faixa de domínio, assim como uma área de preservação ambiental, impõem limites rígidos à construção do muro e às possíveis soluções para reforço de suas fundações. A localização do muro reforçado, do aterro sanitário e das seções B e D do projeto pode ser vista na Figura 1.

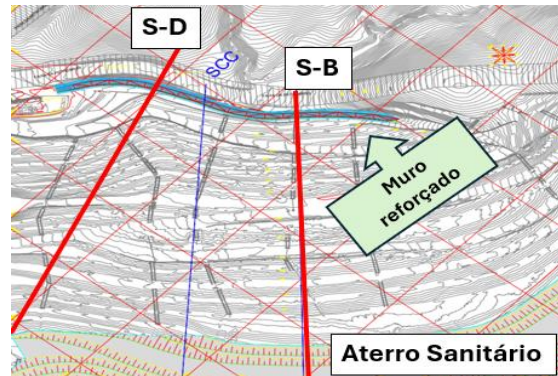


Figura 1 – Localização do muro reforçado, aterro sanitário e da seção B do projeto.

O muro de solo reforçado projetado terá uma extensão aproximada de 385 metros e apresenta eixo longitudinal curvilíneo, adaptando-se à geometria do aterro e às características do terreno. Sua altura varia ao longo do trecho, atingindo até 6 metros nos pontos mais elevados, e sua largura total é de 7 metros. A estrutura do muro é formada por camadas de solo compactado intercaladas com geogrelhas, garantindo sua estabilidade interna. Sacos de areia são utilizados no paramento interno para confinamento dos materiais e proteção contra erosão até a elevação final do aterro. A jusante, será implantada uma galeria composta por um tubo PEAD de 1 metro de diâmetro para drenagem. A montante, o sistema de drenagem inclui um dreno longitudinal com rachão, brita e outro tubo PEAD perfurado, além de um poço drenante para controle do nível d'água e alívio de pressões na fundação.

2.3 Caracterização geológico-geotécnica

O subsolo apresenta estratigrafia heterogênea, sendo caracterizado, nas camadas superficiais, pela presença de silte de coloração roxa e cinza, argila vermelha, silte vermelho e cinza, além de argila siltosa. Em profundidades maiores, observa-se a transição para solos mais argilosos com baixa fração arenosa. Trata-se predominantemente de solo residual, com diversos estágios de intemperização, o que confere variações nos parâmetros de resistência e deformabilidade desses substratos. Na zona de implantação do muro, os primeiros 8 metros de profundidade são compostos predominantemente por solos com NSPT variando entre 2 e 7 golpes, caracterizando um material de baixa resistência, classificado com consistência predominantemente mole. Abaixo dessa profundidade observa-se um aumento na resistência, com valores de NSPT atingindo até 49 golpes na camada mais profunda. A transição dos solos de resistência baixa a média para os solos de resistência alta ocorre de forma não gradual.

A partir da variação dos valores de NSPT e da estratigrafia observada, o perfil geotécnico foi segmentado em camadas representativas, categorizadas conforme suas propriedades mecânicas. Essa divisão serviu de base para a modelagem do comportamento do solo e para a concepção da solução de melhoramento de solo adotada no projeto. A divisão do perfil estratigráfico foi realizada com base nos resultados dos ensaios de SPT, considerando o número de golpes (NSPT) e a classificação tátil-visual das amostras. A análise das 11 sondagens disponíveis permitiu a segmentação do perfil estratigráfico da fundação em quatro principais categorias, variando em resistência e rigidez:

- SMRB: Solo mole de baixa resistência ($\text{NSPT} \leq 5$), com alta compressibilidade e baixa capacidade de suporte.
- SAS1: Solo argiloso/siltoso com resistência moderada ($5 < \text{NSPT} \leq 10$).
- SAS2: Solo argiloso/siltoso mais rígido ($10 < \text{NSPT} \leq 20$), com menor deformabilidade.
- SASA: Silte arenoso compacto a muito compacto ($\text{NSPT} > 20$), com alta rigidez e elevada capacidade de suporte

A Figura 2 ilustra o perfil longitudinal elaborado pela interpretação dos ensaios SPT. A Figura também

mostra as seções B e D utilizadas para a análise dos resultados.

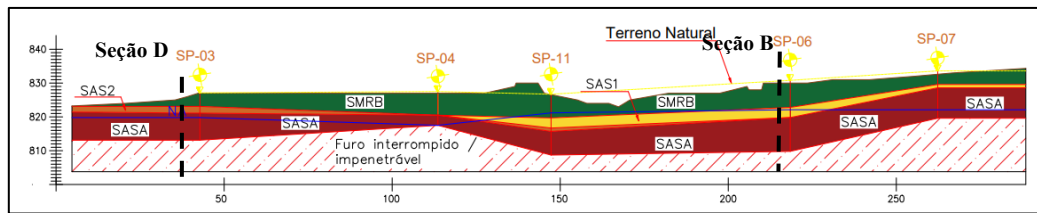


Figura 2 – Perfil estratigráfico longitudinal a partir das sondagens SPT.

A seção B adotada para as análises deste estudo corresponde à sondagem SP-06, identificada como a mais condicionante para a solução de tratamento empregada.

3 SOLUÇÃO PROPOSTA

3.1 Deep Soil Mixing

O Deep Soil Mixing (DSM) é uma técnica de melhoramento de solos que promove o endurecimento de uma mistura de cimento e solo. Inicialmente, ocorre a redução do teor de água no solo, seguida pela hidratação do cimento. No caso de cimentos pozolânicos, há ainda um ganho progressivo de resistência devido à reação química da pozolana ao longo do tempo. Diferentemente de outros métodos, o DSM estabiliza o solo in situ por meio da mistura de caldas de cimento, sem necessidade de compactação ou vibração. Essa técnica é frequentemente utilizada para reforço de solos moles ou fofos, promovendo a melhoria de suas propriedades mecânicas (resistência e deformabilidade). Essa técnica possui grande versatilidade, podendo ser utilizada para finalidades como: redução de recalques, suporte para escavações, aumento da resistência ao cisalhamento do solo, entre outras. A execução das colunas de solo-cimento na técnica DSM ocorre por meio de um sistema mecânico, onde hélices rotativas com largura equivalente ao diâmetro desejado misturam o solo com a calda de cimento, formando um corpo homogêneo e resistente. O DSM emprega um processo mecânico controlado para garantir a uniformidade da coluna melhorada (Kitazume e Terashi, 2013).

3.2 Característica da solução

Para este projeto, foram dimensionados dois tipos de malha (Figura 3 (a)), as quais foram definidas visando atender às necessidades de incremento de resistência da fundação, repetindo os estritos limites impostos pela área licenciada e, simultaneamente, assegurando a integridade estrutural das colunas frente aos esforços aos quais elas serão submetidas durante a obra. A malha retangular foi escolhida para a distribuição das colunas, com um espaçamento de 1,0 x 1,20 metros, enquanto a malha triangular foi projetada para a zona onde os limites da área licenciada são mais restritivos com o mínimo de espaço entre as colunas possíveis (0,9 x 0,9) para que estas possam atuar em conjunto. Para o projeto em questão, considerando as características do solo e as condicionantes de projeto, adotou-se uma resistência de compressão não confinada (UCS) mínima de 1,4 MPa para as colunas de DSM. A Figura 3 (b) mostra a seção transversal com a distribuição das colunas abaixo do muro reforçado, com sua posição em relação ao aterro sanitário.

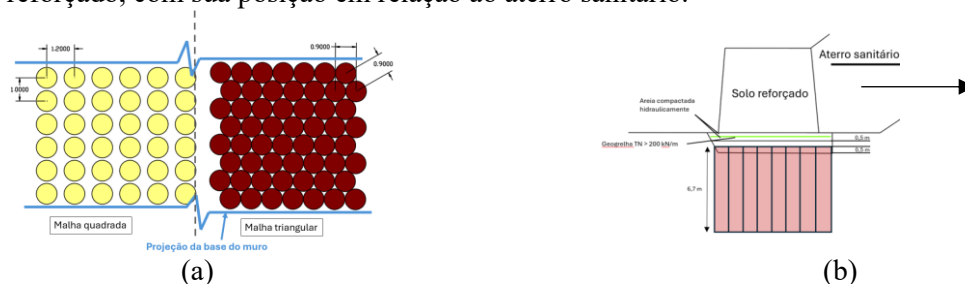


Figura 3 – (a) Malha das colunas de DSM utilizadas no projeto (b) seção transversal do muro e instalação das colunas.

4 PARÂMETROS ADOTADOS E CONDIÇÃO DE CONTOURNO

Para o projeto, com base nos dados das sondagens SPT, a partir das classificações adotadas e valores de N_{SPT} ao longo da profundidade foram obtidas informações estatísticas para cada camada identificada no perfil estratigráfico. Esses dados incluem média, mediana e quartis, considerando também os valores corrigidos pela energia de cravação (N_{60}) e pela tensão efetiva de confinamento ($(N_1)_{60}$). Para melhor visualização, foram elaborados gráficos box plot (Figura 4), que mostram de forma clara a dispersão dos valores, a mediana, os quartis e os outliers para os valores de N_{SPT} .

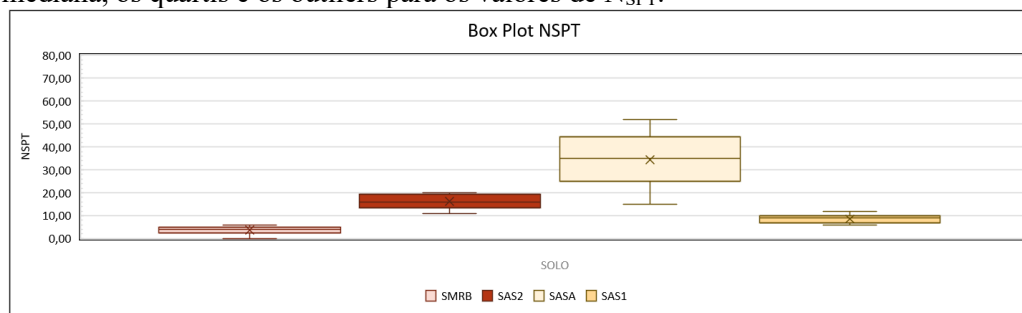


Figura 4 - Box plot dos valores de N_{SPT} para cada camada adotada.

Nos casos em que valores de N_{SPT} significativamente diferentes apareciam em proporção pouco expressiva dentro de uma mesma camada, esta foi considerada homogênea, a fim de evitar uma estratificação excessiva que pudesse comprometer a representatividade e a eficácia da análise geotécnica.

Foram utilizadas as correlações de Hatanaka e Uchida (1996), Teixeira (1996) e Godoy (1983), comumente empregadas em projetos geotécnicos. Embora essas correlações sejam tradicionalmente indicadas para solos arenosos, devido à diversidade de solos encontrados no perfil (siltosos, argilosos e arenosos), elas foram utilizadas apenas como referência, com adoção de valores mais conservadores. Para a camada mole de baixa resistência, para a qual o emprego das referidas correlações não seria adequado, os parâmetros de resistência efetivos foram estimados com base na experiência dos engenheiros da JETBR.

Tabela 1 - Parâmetros dos materiais do modelo elaborado.

Camada	Modelo Constitutivo	c'	ϕ'	γ_{sat} (kN/m ²)	E_{50} (MPa)	E_{oed} (MPa)	E_{ur} (MPa)	p_{ref} (kPa)	ν
SMBR	HS Model	5	22	17	5	5	15	40	0,3
SAS1	HS Model	5	28	18,5	7	7	21	55	0,3
SAS2	Mohr-Coulomb	10	33	19	-	30	-	-	0,3
SASA	Mohr-Coulomb	20	35	20	-	60	-	-	0,3
Aterro	Mohr-Coulomb	5	28	18	-	30	-	-	0,3
Plataforma (areia compactada)	Mohr-Coulomb	0	35	20	-	60	-	-	0,3

Dado que o parâmetro de coesão apresenta alta variabilidade, tornando-o difícil de estimar, os valores adotados foram definidos com base na experiência da equipe técnica da JETBR. Os parâmetros de resistência dos resíduos sólidos (coesão efetiva c' e ângulo de atrito efetivo ϕ') foram obtidos a partir da análise de equilíbrio limite conduzida pela empresa responsável pelo projeto de expansão do aterro: RSU novo ($c = 16$ kPa, $\phi = 28^\circ$) e RSU existente ($c = 19$ kPa, $\phi = 28^\circ$).

Na ausência de ensaios específicos, os módulos de deformabilidade foram estimados com base nas correlações de Sandroni (1991), específicas para solos residuais, e de Teixeira e Godoy (1996), que aplicam fatores de correção conforme o tipo de solo. Para os resíduos sólidos compactados, foram utilizados dados de compressibilidade compilados por Manassero, Van Impe e Bouazza (1996).

Na Figura 5 (a), é apresentada a seção transversal completa do aterro sanitário, destacando-se as camadas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) novo e antigo, bem como sua influência na estabilidade do muro reforçado em uma seção crítica de projeto. Observa-se que a disposição dos RSU, tanto recentes quanto previamente compactados, exerce pressões distintas sobre a estrutura de contenção, impactando seu comportamento

geotécnico. A Figura 5 (b) exibe em detalhe a região do muro reforçado, onde as áreas em rosa e amarelo representam os pseudo-materiais com propriedades mecânicas equivalentes às do solo tratado pelas colunas DSM (Deep Soil Mixing). Essa substituição visa melhorar as propriedades do terreno, aumentando a resistência e reduzindo deformações sob carregamento.

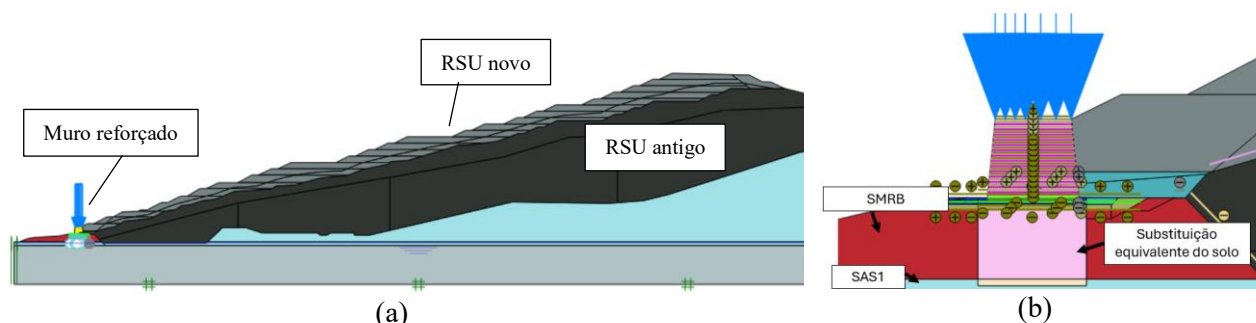


Figura 5 - Seção transversal da seção B (a) aterro inteiro (b) região do muro reforçado.

Acima do muro, é aplicada uma sobrecarga de 20 kPa, que simula o efeito do tráfego de veículos e transporte de cargas no topo do muro. Essa carga deve ser considerada no dimensionamento da estrutura, uma vez que pode gerar esforços adicionais nas colunas.

Especificamente para a seção apresentada foi adotada a abordagem de substituição do solo pelo material equivalente, por se tratar de regiões com alta densidade de colunas DSM (colunas tangentes). O solo tratado foi modelado no PLAXIS como um material homogêneo, utilizando o modelo constitutivo Mohr-Coulomb. Os parâmetros desse material equivalente foram definidos por uma média ponderada entre os parâmetros do solo natural e os parâmetros de resistência das colunas, os quais foram baseados na resistência à compressão uniaxial das mesmas. Na solução proposta para essa seção foi considerada a configuração de malha de 0,9 x 0,9 m, como visto anteriormente, que gera uma taxa de substituição de 90%.

Tabela 2 – Parâmetros equivalentes das colunas de brita.

Parâmetro	Coluna de DSM	Camada SMRB EQ.	Camada SAS1 EQ.
$\phi'_{Eq} (^\circ)$	30	29,2	29,8
$c'_{Eq} (kPa)$	404	364,2	364,2
$E'_{Eq} (MPa)$	490	441,5	441,7
$\gamma'_{Eq} (kN/m^3)$	20	19,7	19,9

O modelo também contempla a instalação de uma plataforma de transferência de cargas reforçada com uma geogrelha para minimizar os impactos da distribuição não uniforme de tensões na base do muro, em razão do empuxo exercido pelo alteamento do aterro sanitário. Por outro lado, para minimizar a transferência de carregamentos horizontais para o topo das colunas de DSM, os quais podem induzir momentos fletores elevados nas colunas, optou-se pelo uso de uma areia compactada para compor a plataforma de transferência, em detrimento de um material mais rígido, como BGS, uma vez que, nas análises numéricas, a rigidez da plataforma de mostrou um fator relevante para a magnitude dos momentos fletores nas colunas.

5 RESULTADOS

Os resultados dos deslocamentos verticais na Seção B de análise demonstram a eficácia da solução de melhoramento com colunas DSM na redução dos recalques. Como pode ser visto na Figura 6 (a), no cenário sem tratamento, observou-se um recalque máximo de 18,2 cm na base do muro. Com a implantação das colunas DSM (Figura 6 (b)), esse deslocamento foi reduzido para apenas 7,6 cm, confirmando a efetividade da intervenção, para essa finalidade.

Além da redução em magnitude, a análise revelou uma distribuição não uniforme dos recalques no cenário sem melhoramento, com recalque diferencial de até 9 cm no sentido transversal ao muro. Essa assimetria poderia gerar uma rotação acentuada do muro, provocando patologias como trincas e abatimentos ou até mesmo instabilidade global. Com a implantação das colunas DSM, os recalques apresentaram uma

distribuição mais homogênea, mitigando esses efeitos adversos e garantindo maior segurança e desempenho à estrutura.

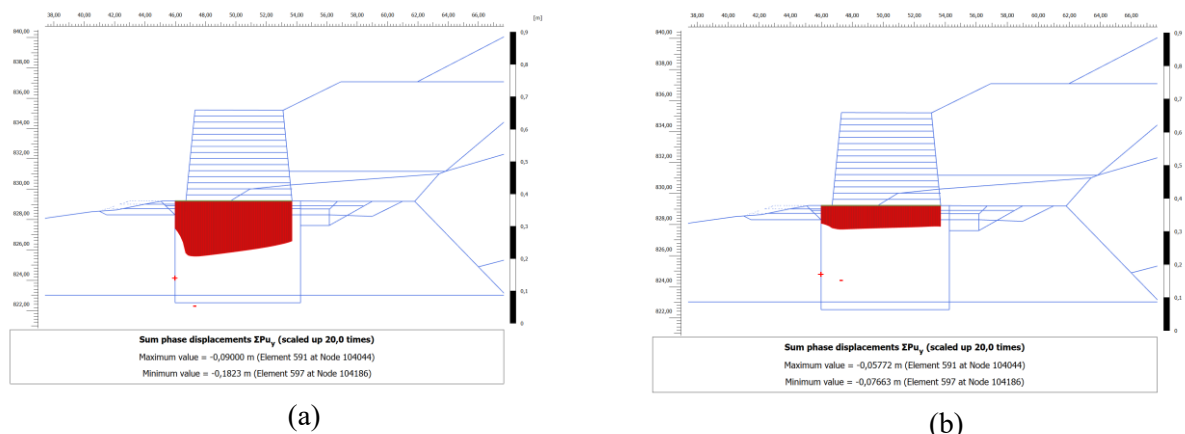


Figura 6 – Deslocamentos verticais na base do muro de solo reforçado na seção B.

Para as zonas nas quais as colunas são dispostas em malha retangular com espaçamento de 1,2 x 1,0 m, a simulação individualizada nas colunas torna-se preferível, uma vez que as colunas serão mobilizadas como elementos rígidos isolados. Por essa razão, simulou-se as colunas por meio de elementos do tipo *embedded pile*, os quais simulam a rigidez das colunas por meio de elementos especiais de interface que interagem com a malha de elementos finitos. Esse tipo de elemento permite a extração direta dos esforços internos das colunas (N, Q e M), os quais devem ser inferiores à resistência das colunas, para cada mecanismo de mobilização. A Figura 7 apresenta os esforços obtidos na Seção D de análise, que atravessa a zona de reforço na qual as colunas são dispostas em malha retangular. Esses esforços foram comparados à resistência esperada das colunas para os mecanismos de ruptura por: compressão, tração, cisalhamento e flexo-compressão, considerando, para esses cálculos, a resistência à compressão uniaxial mínima definida em projeto ($UCS > 1,4$ MPa) e assumindo que a resistência à tração será $0,15 \times UCS$, razão compatível com a apresentada nos estudos de Terashi et al. (1980).

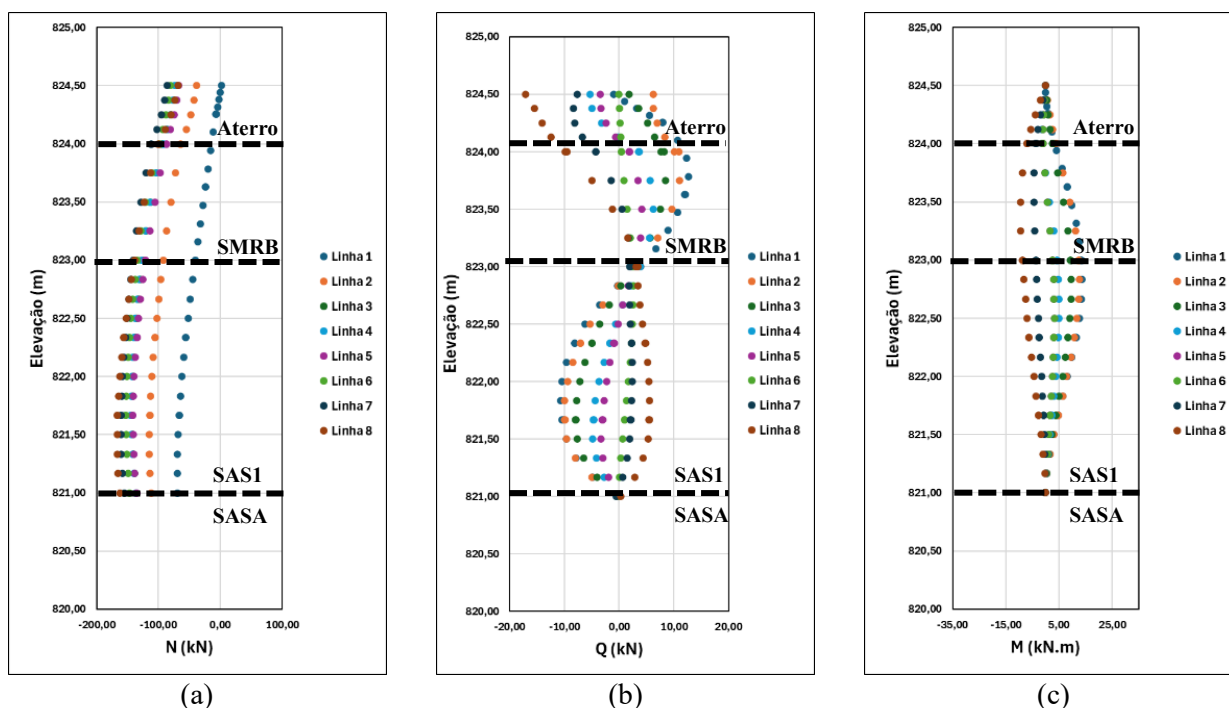


Figura 7 – (a) Esforços axiais (b) esforços cortantes (c) momentos fletores na seção D.

Nos resultados também observou-se a redução dos deslocamentos horizontais, que passaram de 13,0 cm, no cenário sem tratamento, para 5,5 cm com o tratamento.



6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto foi desenvolvido com o objetivo de promover a melhoria das propriedades mecânicas do solo de fundação na área de implantação do muro de solo reforçado, de forma a garantir o atendimento aos critérios de estabilidade, segurança e deformação exigidos para a obra do aterro sanitário da Central de Tratamento de Resíduos Leste (CTL) da EcoUrbis. As soluções adotadas visam assegurar um aumento da resistência ao cisalhamento do solo de fundação de forma a suportar as cargas provenientes do peso próprio muro, dos aterros a montante do muro e das solicitações operacionais ao longo da vida útil da estrutura.

A análise demonstrou que as colunas DSM proporcionaram melhorias significativas no comportamento geotécnico da fundação. Na área com maior espessura de solo mole, observou-se um aumento do FS global, com deslocamento da superfície de ruptura crítica da fundação para a interface entre os resíduos novos e existentes, indicando reforço efetivo da resistência ao cisalhamento da fundação. Os deslocamentos verticais apresentaram redução expressiva e distribuição mais uniforme após o tratamento, eliminando concentrações assimétricas. Na zona de menor densidade de colunas, onde as mesmas se comportarão como elementos de reforço isolados, a resistência das colunas é superior aos esforços solicitantes. Houve, ainda, uma redução nos deslocamentos horizontais, quando comparado ao cenário sem a implantação da solução de tratamento.

A solução mostrou-se adequada às condições locais, proporcionando melhorias significativas na estabilidade global da fundação e garantindo melhor desempenho da estrutura de contenção.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento à Cepollina pela oportunidade de participação no projeto, e à Tecnogeo pelo suporte técnico nas análises geotécnicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Impe, W. V., Manassero, M. and Bouazza, A. (1996) *Waste disposal and containment*. SOA-report 2nd International Congress on Environmental Geotechnics, Osaka, Japan, 5-8, 50 p.
- Godoy, N. S. (1983) *Estimativa da capacidade de carga de estacas a partir de resultados de penetrômetro estático*. Palestra proferida na Escola de Engenharia de São Carlos – USP.
- Hatanaka, M., Uchida, A. (1996) Empirical correlation between penetration resistance and effective friction of sandy soil. *Soils Found*, v. 36, n. 4, p.1-9.
- Kitazume, M., Terashi, M. (2013). *The deep mixing method* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b13873>
- Sandroni, S. S., (1991) Young metamorphic residual soil – Special Report. In: IX Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, *Proceedings...* Vina del Mar, Chile.
- Teixeira, A., H. (1996) *Projeto e execução de fundações*. Seminário de engenharia de fundações especiais e geotecnia, SEFE, São Paulo/SP v.1, p.33-50.
- Teixeira, A. H. e Godoy, N. S. (1996) *Análise, projeto e execução de fundações rasas*, In: Hachich, W. et al. (ed.) *Fundações: teoria e prática*, Pini, São Paulo.
- Terashi, M., Tanaka, H., Mitsumoto, T., Niidome, Y. & Honma, S. (1980) *Fundamental properties of lime and cement treated soils* (2nd Report). *Report of the Port and Harbour Research Institute*. Vol. 19. No. 1. pp. 33–62 (in Japanese).