



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



## 25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

### ESTUDO DE CASO NO KM 571+100 DA PISTA NORTE DA BR-381: ANÁLISE DE SOLUÇÕES PARA PROJETO DE FUNDAÇÃO DE ATERRO SOBRE SOLO MOLE

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

*Anna Luiza Braga Amaral Bicalho<sup>1</sup>; Carlos Eduardo Sales Alves Filho<sup>2</sup>; Maria de Fátima Amazonas de Sá Araújo<sup>3</sup>; Ismar Linhares Stangherlin<sup>4</sup> & Rosemberg Ferreira Nunes<sup>5</sup>*

#### RESUMO

A construção de aterros sobre solos moles ainda é um grande desafio na engenharia geotécnica, inclusive na engenharia rodoviária. Estes solos apresentam grandes dificuldades em função de suas características peculiares, tais como a baixa capacidade de suporte e a elevada compressibilidade. Diversas técnicas vêm sendo adotadas em fundações de aterros sobre solos moles, com o intuito de acelerar e estabilizar os recalques, e cada uma delas apresenta vantagens e desvantagens em sua utilização, a depender do caso analisado. Este artigo apresenta um estudo de caso de fundação de aterro sobre solo mole em um trecho da BR-381 (Fernão Dias) – pista norte. O local em estudo possui 120 metros de extensão, e apresenta, atualmente, afundamento na pista de rolamento devido a presença de solo compressível em sua fundação. Para solucionar o problema, foram analisados, a partir de ensaios computacionais, os recalques em função do tempo para três soluções geotécnicas. Dentre as soluções analisadas estão: a utilização de geodrenos sem utilização de sobrecarga, a utilização de sobrecarga temporária aliada à instalação de geodrenos, e, por fim, a utilização de material leve (EPS) na reconstrução do corpo do aterro, que é uma solução menos comum e com algumas limitações econômicas. As análises computacionais foram realizadas por meio do *software* GeoStudio Sigma/W.

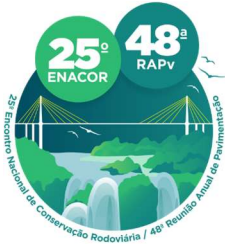
**PALAVRAS-CHAVE:** Solo compressível; solo mole; soluções geotécnicas.

#### ABSTRACT

The construction of landfills on soft soils is still a major challenge in geotechnical engineering, including in road engineering. These soils present significant difficulties due to their peculiar characteristics, such as low bearing capacity and high compressibility. Various techniques have been adopted in the foundations of landfills on soft soils in order to accelerate and stabilize settlements, and each of them has advantages and disadvantages depending on the case being analyzed. This article presents a case study of a landfill foundation on soft soil in a section of BR-381 (Fernão Dias) - northbound lane. The study site is 120 meters long and currently exhibits settlement on the roadway due to the presence of compressible soil in its foundation. To solve the problem, settlements over time were analyzed through computational tests for three geotechnical solutions. Among the analyzed solutions are the use of geodrains without additional load, the use of temporary surcharge combined with the installation of geodrains, and finally, the use of lightweight material (EPS) in the reconstruction of the landfill body, which is a less common solution with some economic limitations. The computational analyses were performed using the GeoStudio Sigma/W software.

**KEYWORDS:** Compressible soil; soft soil; geotechnical solutions.

1 Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais, [anna.braga@der.mg.gov.br](mailto:anna.braga@der.mg.gov.br); [carlos.eduardo@der.mg.gov.br](mailto:carlos.eduardo@der.mg.gov.br); [fatima.amazonas@der.mg.gov.br](mailto:fatima.amazonas@der.mg.gov.br); [ismar.linhares@der.mg.gov.br](mailto:ismar.linhares@der.mg.gov.br); [rosemberg.nunes@der.mg.gov.br](mailto:rosemberg.nunes@der.mg.gov.br).



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## INTRODUÇÃO

Quando solicitados, os solos moles tendem a apresentar problemas de instabilidade e recalques, devido às suas características físicas, tais como baixa permeabilidade, alta compressibilidade e baixa capacidade de carga. Por isso, os solos moles ou compressíveis, ainda são um desafio na engenharia rodoviária, sendo necessários estudos aprofundados no campo da geotecnia.

As várias soluções utilizadas na elaboração de projetos de aterros sobre solos moles apresentam características, restrições e condições de aplicação diferenciadas, sendo necessário ao projetista compreender e encontrar a melhor solução para cada caso, observando os pontos de vista técnico, econômico e operacional.

O principal objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento de aterros sobre solos compressíveis através de análises computacionais, estudando três possíveis soluções. Para tal, escolheu-se um estudo de caso localizado na BR-381 (Rodovia Fernão Dias), próximo ao Km 571+100, Pista Norte, em trecho duplicado. Atualmente, o segmento apresenta afundamento na pista devido à presença de solos compressíveis na fundação do aterro.

Embora o aterro tenha sido dimensionado quanto a ruptura, seu estudo não é objetivo deste trabalho e não será aqui abordado.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Aterros sobre solos moles

Dentre os tipos de solos que podem ser identificados em campo, estão os solos moles, que são formados por frações finas, em condições saturadas. Geralmente são compostos por argilas com elevados índices de consistência, elevados valores de umidade natural, pouco permeáveis e podem apresentar material orgânico em sua composição, sendo esses últimos os responsáveis pela coloração escura do solo, quando ocorrem (Zhang et al., 2023).

Devido à compressibilidade e baixa resistência dos solos moles, são adotadas diversas técnicas para mitigar os efeitos negativos que suas características podem causar nas obras de engenharia.

Segundo Carvalhais (2017), os mecanismos de estabilização hidráulica do solo de fundação baseiam-se na alteração das condições de fluxo da água intersticial presente na massa do solo, já na estabilização física, o emprego de elementos laterais ou mesmo alterações de geometria no aterro, criam esforços de compensação aos esforços induzidos sobre o solo compressível (Shi et al., 2023). Segundo Ugwuanyi et al. (2019), estabilização é uma técnica usada na mecânica dos solos para melhorar as propriedades do solo por vários métodos e procedimentos.

### Investigações geotécnicas

Nos projetos de aterros sobre solos moles é necessário, inicialmente, um reconhecimento da área de estudo, seguido de investigações de caracterização e determinação de resistência, tais como sondagens a percussão e Penetrômetro Dinâmico Leve (PDL). Em uma terceira fase, recomenda-se a execução de ensaios específicos, para definição de parâmetros geotécnicos, cálculo de estabilidade e recalques.

As sondagens a percussão SPT (*Standard Penetration Test*) são amplamente utilizadas para caracterizar as camadas do aterro e medir sua resistência. Segundo Lukiantchuki (2012), no âmbito da engenharia geotécnica, principalmente em fundações, o amplo emprego deste ensaio deve-se à sua



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



simplicidade, robustez e facilidade de aplicação dos seus resultados. Segundo a NBR 6484 (ABNT, 2020), pode-se caracterizar, preliminarmente, como solos moles, aqueles que apresentam resistência à penetração do ensaio SPT inferior a quatro golpes.

Outro tipo de sondagem comumente utilizada, quando se trata de solos compressíveis, são as sondagens a Penetrômetro Dinâmico Leve (PDL). Segundo Alves Filho (2010), elas caracterizam as profundidades e resistências dos solos de fundação com rapidez e eficiência, dada à praticidade e operacionalidade do equipamento utilizado.

Por fim, podem ser realizadas coletas de amostras indeformadas para realização de ensaios especiais, tais como de adensamento edométrico e de compressão triaxial.

### **Possíveis soluções para tratamento do solo mole**

Segundo Almeida e Marques (2010), a escolha do método construtivo mais adequado está associada a diversas questões: características geotécnicas, utilização da área, incluindo vizinhança, prazos construtivos e custos envolvidos. A maioria dos métodos contemplam o controle de recalques e de estabilidade. Dentre as diversas técnicas adotadas no Brasil para construção sobre solos moles, estão:

- Remoção e substituição total ou parcial dos solos moles;
- Transferência de carga para camada de solo mais resistente: estacas convencionais, colunas de areia/brita;
- Construção direta com adensamento do solo: uso de sobrecargas, uso de materiais leves no aterro, uso de drenos verticais na fundação;
- Uso de reforço da fundação de aterro: fibras naturais e sintéticas;
- Contorno do trecho com solo mole: variantes e viadutos.

Estas soluções podem ser projetadas e executadas individualmente ou combinadas, a depender das características da obra projetada.

Neste estudo de caso são analisadas algumas soluções, tais como: uso exclusivo de geodreno sem uso de sobrecarga, o uso de sobrecarga temporária aliada à geodreno e aterro leve com uso de poliestireno expandido (EPS).

### **Aterro leve com núcleo de poliestireno expandido (EPS)**

Aterros executados com Poliestireno Expandido (EPS) ou popularmente conhecido como “isopor”, marca registrada da empresa Knauf Isopor Ltda., é uma solução pouco conhecida no Brasil, mas amplamente difundida e utilizada no exterior. O uso deste material, devido seu baixo peso específico, faz com que a técnica também seja conhecida como aterro ultra leve.

Segundo Sakamoto (2018), o EPS trata-se de um material celular polimérico composto por partículas de formato esférico, que conferem à estrutura cerca de 98% de ar. Essa estrutura micro celular garante ao EPS um peso específico de aproximadamente 1% do peso específico dos aterros compactados tradicionais, ao mesmo tempo que ainda permite propriedades mecânicas satisfatórias.

Desta forma, a execução de aterros com blocos de EPS pode ser capaz de reduzir os recalques diferenciais da estrutura, melhorar a estabilidade do aterro, garantindo segurança e leveza, geralmente com maior agilidade na execução da obra.

Como ponto positivo da indicação desta solução está a rapidez na construção, a minimização de recalques na fundação e a não necessidade de se alterar o traçado e o greide atual da rodovia. Como aspectos negativos para utilização desta solução, pode-se citar a dificuldade em se encontrar



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



profissionais experientes para execução e fiscalização da técnica, riscos de ataques químicos ao EPS, tais como solventes e gasolina, riscos de flutuação do EPS devido sua leveza, possibilidade de formação de trilhas de roda devido às deformações plásticas do EPS e, por fim, o preço agregado ao transporte das placas.

Como solução para os problemas apontados, tais como riscos de ataques químicos, riscos de flutuação e possibilidade de formação de trilhas de rodas, sugere-se a construção de uma camada de solo em forma de envelopamento para confinar o EPS, espriar as tensões que seriam absorvidas pelo EPS e contrapor o empuxo hidrostático. Para reduzir o valor do preço agregado ao transporte das placas, deve-se buscar fábricas mais próximas ao local da obra, para que a solução não seja inviabilizada.

## METODOLOGIA

Para embasar o estudo proposto, foram programadas campanhas de sondagens à percussão - SPT, composta de 12 furos, com intuito de definir a espessura do solo compressível, suas resistências e parâmetros geotécnicos, através de correlações empíricas.

Foram elaborados três perfis geológico – geotécnicos, transversais a Pista Norte da rodovia em estudo, baseados na locação e resultados obtidos das sondagens SPT.

Para este estudo, foi considerada a seção transversal que conta com os furos SP 01, SP 06 e SP 10, por ser considerada a mais crítica em razão de apresentar camadas mais espessas de solos moles, e a partir da qual foi criado o perfil geológico-geotécnico ilustrado na Figura 1.

Os parâmetros geotécnicos dos materiais estudados foram obtidos através de correlações pela tabela apresentada por Geofast (2019), que indica valores estimados de peso específico ( $\gamma$ ), módulo de elasticidade (E), coesão (c) e ângulo de atrito ( $\phi$ ), correlacionados ao número de golpes obtidos em sondagens SPT. Estas correlações, com parâmetros estimados, são usualmente utilizadas em estudos e práticas acadêmicas.

Os parâmetros obtidos para as análises são apresentados na Tabela 1.





19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR  
www.rapvenacor.com.br

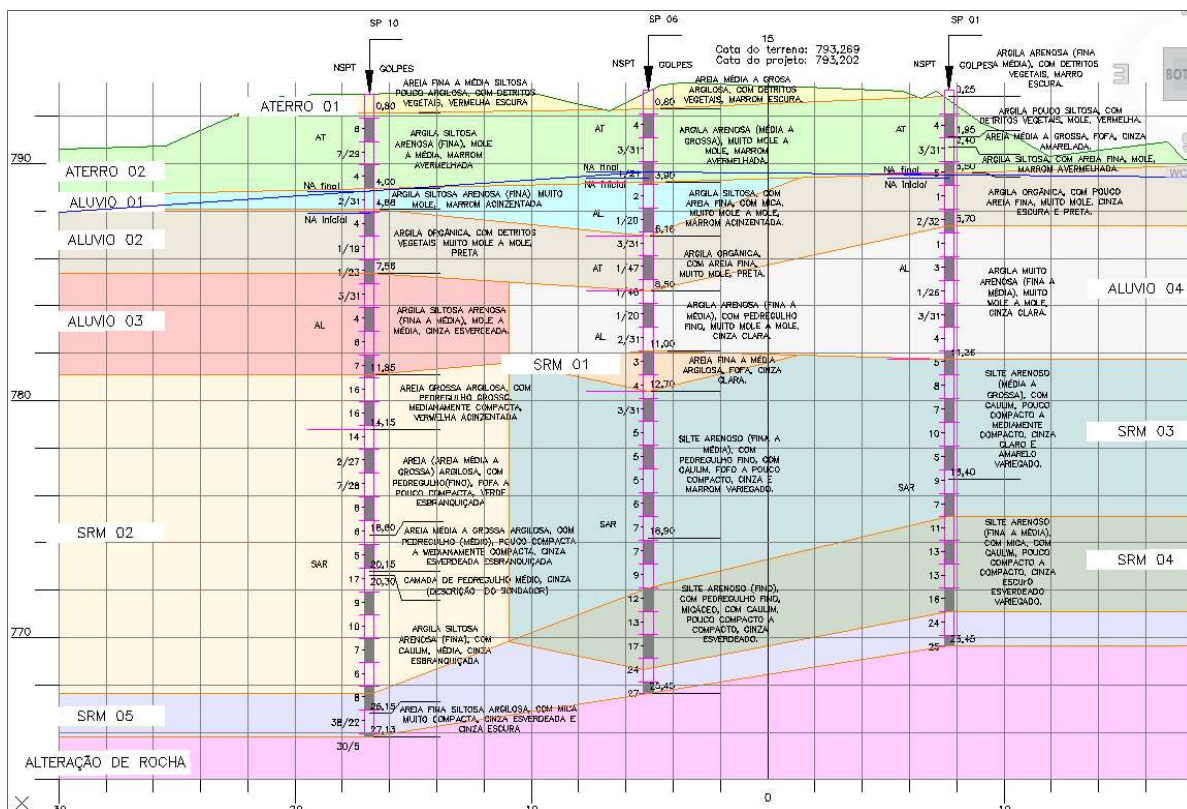
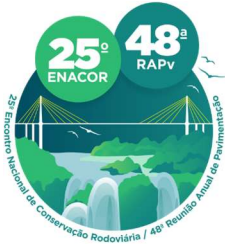


Figura 1: Perfil geológico-geotécnico elaborado a partir dos furos de sondagens SP-10, SP-06 e SP-01. SRM = Solo Residual Maduro. (Autores)

Tabela 1: Parâmetros dos materiais utilizados nas análises computacionais, obtidos através de correlações com N<sub>SPT</sub>. (Autores, 2020)

Nome	Material	Propriedades hidráulicas	N <sub>SPT</sub> médio	E (kPa)	γ (KN/m <sup>3</sup> )	Coef. de Poisson
Aterro 01	Areia argilosa com detritos vegetais, marrom escura	efetivos drenados	5	9000	17	0,3
Aterro 02	Argila arenosa muito mole, marrom avermelhada	efetivos drenados	4,16	7000	15	0,3
Alúvio 01	Argila siltosa arenosa com mica muito mole, marrom acinzentada	efetivos com variação de u	1,81	3000	15	0,334
Alúvio 02	Argila orgânica muito mole, preta	efetivos com variação de u	1,74	3000	15	0,334
Alúvio 03	Argila siltosa arenosa (fina a média) mole a média, cinza esverdeada	efetivos com variação de u	4,98	9000	17	0,3
Alúvio 04	Argila arenosa com pedregulho fino muito mole, cinza clara	efetivos com variação de u	2,02	464	12	0,334
SRM 01	Areia fina a média argilosa, fofa, cinza clara	efetivos com variação de u	3,50	7000	17	0,35
SRM 03	Silte arenoso com pedregulho fino, fofo, cinza e marrom avermelhado	efetivos com variação de u	6,53	14000	19	0,3
SRM 04	Silte arenoso com pedregulho fino pouco compacto, cinza esverdeado	efetivos com variação de u	13,57	29000	19	0,3



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



<b>SRM 05</b>	Areia fina siltosa muito compacta, cinza	efetivos com variação de u	26,64	18000	17,5	0,334
---------------	--	----------------------------	-------	-------	------	-------

A figura a seguir ilustra como serão dispostos os elementos, desde a instalação dos geodrenos, até a aplicação de sobrecarga, quando necessária.

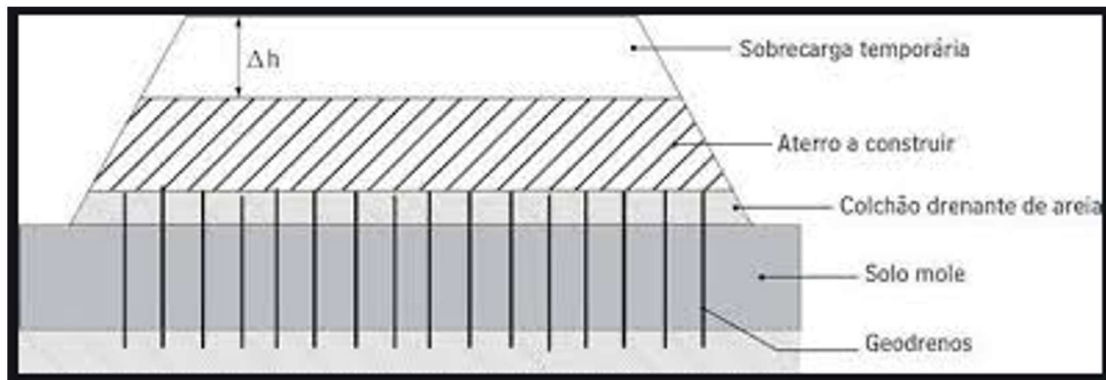


Figura 2: Aterro com sobrecarga temporária. Fonte: Romanini (2016)

## ANÁLISES COMPUTACIONAIS

As análises foram realizadas através do *software* GeoStudio Sigma/W, versão 2018. Esta ferramenta é utilizada para modelagem de tensões e deformações em solo através do método de elementos finitos. Ele permite realizar análises desde simulações elásticas lineares até situações de interação solo-estrutura com modelos de materiais não lineares.

Com esta ferramenta foi possível analisar todas as etapas do projeto de construção, desde a remoção do aterro existente, até a retirada da sobrecarga temporária. Para este estudo, foram realizadas simulações utilizando modelos de comportamento linear elástico, o que permite uma abordagem mais simplificada.

Baseando-se no perfil geotécnico ilustrado na Figura 1, foram simuladas três soluções de estabilização e reforço da fundação do aterro:

1. Reconstrução do aterro com geodreno sem utilização de sobrecarga;
2. Reconstrução do aterro com sobrecarga temporária e instalação de geodrenos;
3. Construção de aterro leve com núcleo de poliestireno expandido (EPS).

Sistema de drenagem:

O sistema de drenagem vai constar de um colchão drenante de areia média (forro inicial de trabalhabilidade), com 0,20 m de espessura, seguido pela execução da malha triangular de geodreno em triângulos equiláteros de lado 0,87 m, com profundidade de 10,00 m, acrescido de 0,50 m a serem dobrados em 90°, para inclusão no forro de areia. Logo após, será executado o colchão drenante de brita com espessura de 0,50 m sobre as sobras dos geodrenos dobrados, de modo a fixá-los entre o forro inicial de trabalhabilidade e colchão de brita.

Notas:



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



- De agora em diante, neste trabalho, o sistema composto por forro inicial de trabalhabilidade de areia média (0,20 m) + colchão drenante de brita (0,50 m), será denominado “colchão drenante”;
- Para todas as três propostas, será necessária a remoção do aterro existente, para possibilitar a instalação dos geodrenos e colchão drenante, pois estes elementos são instalados na base do aterro.

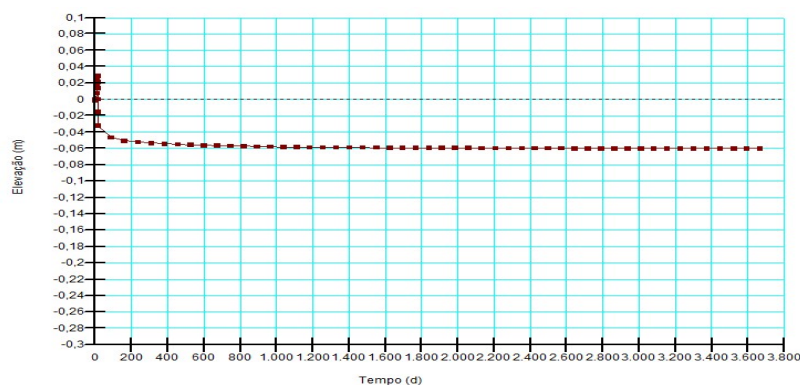
### 1ª Solução - Reconstrução do aterro com geodrenos sem utilização de sobrecarga

Esta solução não prevê a utilização de sobrecarga temporária, sendo a drenagem promovida pelos geodrenos e colchão drenante a principal solucionadora do problema.

Nesta proposta, considera-se as etapas: Remoção do aterro existente; Inclusão dos geodrenos verticais; Construção do colchão drenante; Reconstrução do aterro até o nível especificado no projeto geométrico.

Os geodrenos seguem os critérios especificados anteriormente, com profundidade de 10,0 metros de solo drenado. A implantação do colchão drenante também seguem os critérios descritos no item anterior.

O gráfico obtido através do *software* GeoStudio Sigma/W, foi elaborado considerando um prazo de 10 anos após a reconstrução do aterro, com o intuito de verificar o comportamento do adensamento ao longo do tempo. (Figura 3).



**Figura 3:** Gráfico recalque (m) *versus* tempo (dias) após 3650 dias (10 anos), com aplicação de geodreno.

Observa-se no gráfico da Figura 3 que o recalque alcança o valor máximo de 6,0 cm. Percebe-se ainda que, com a adoção desta solução, o aterro sofre uma pequena variação de recalque a partir do 50º dia e estabiliza em 6,0 cm próximo dos 1000 dias.

### 2ª Solução - Reconstrução do aterro com sobrecarga temporária e instalação de geodrenos

A proposta é a estabilização do aterro com implantação de drenagem, composta por malha de geodrenos e colchão drenante, seguido da reconstrução do aterro da via e aplicação da sobrecarga temporária para a aceleração do adensamento, e posterior retirada da sobrecarga até a cota do greide especificada no projeto.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



Para o uso de sobrecarga, considera-se, o aterro do projeto executivo da rodovia, acrescido de uma sobrecarga de 3,0 metros de altura de aterro, como artifício para acelerar e aumentar o valor do recalque de todo maciço.

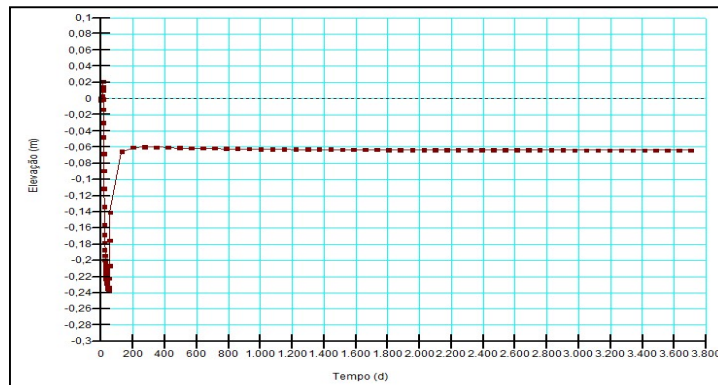
Em virtude da espessa camada de solo compressível e do baixo fator de condutividade hidráulica média dessa camada ( $K=1,09 \times 10^{-7}$  cm/s), inicialmente, foi indicada a inclusão de uma malha de geodrenos verticais para remoção da água das camadas de solo mole.

Após a implantação dos geodrenos no terreno crítico do aterro, foi implantado o colchão drenante, para então, ser iniciada a fase de reconstrução do aterro de projeto e construção do aterro de sobrecarga. Para fins de cálculo, estimou-se que o aterro será realizado em duas camadas de 0,25m a cada dia.

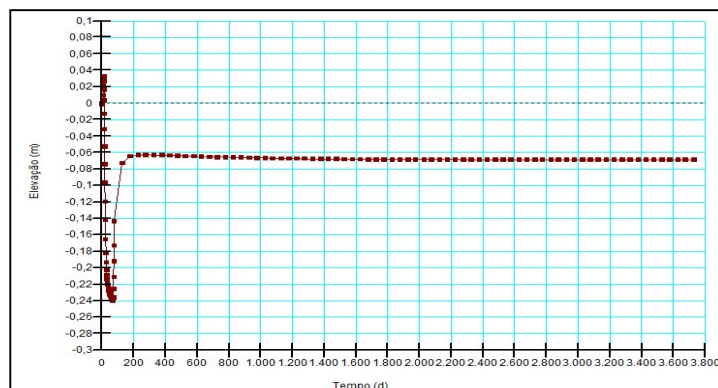
Ao longo do desenvolvimento do projeto, surgiu a necessidade de simular a ação da sobrecarga considerando diferentes prazos de permanência.

Os valores obtidos nos estudos estão representados, com recalques em metros x dias, nos gráficos de recalques previstos ao longo de toda área do aterro nas diferentes etapas do processo, desde a retirada do aterro existente e a construção do novo aterro, até a construção do aterro de sobrecarga, sua manutenção pelo prazo determinado e sua posterior retirada.

Os gráficos a seguir mostram o comportamento do recalque em função do tempo, considerando-se a permanência da sobrecarga por 30 e 50 dias, para um prazo de 10 anos após a sua retirada.

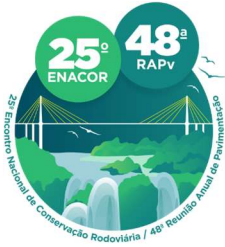


**Figura 4:** Gráfico recalque (m) *versus* tempo (dias) após 3650 dias (10 anos), considerando 30 dias de ação da sobrecarga.



**Figura 5:** Gráfico recalque (m) *versus* tempo (dias) após 3650 dias (10 anos), considerando 50 dias de ação da sobrecarga.





19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



A Tabela 2 demonstra o comparativo dos recalques previstos para 30 dias e 50 dias de ação da sobrecarga temporária:

**Tabela 2:** Comparativo de recalques previstos. (Autores, 2020)

Tempo de ação da sobrecarga (dias)	Recalque após ação da sobrecarga (cm)	Recalque 6 dias após o início da retirada da sobrecarga (cm)	Variação do recalque em 5 dias de retirada total da sobrecarga (cm)	Estabilização do Recalque (cm)
30	23,82	14,02	9,80	6,41
50	24,19	14,10	10,09	6,52

Analisando os gráficos (Figuras 4 e 5), percebe-se que para os dois prazos estipulados para sobrecarga temporária, a variação do recalque é aproximada. Dessa forma, conclui-se que o aumento no tempo de ação da carga extra no aterro não apresentaria efeitos consideráveis do ponto de vista geotécnico, e manteria o tráfego interrompido por um período maior.

Nos prazos analisados, percebe-se uma rápida tendência à estabilização logo após 6 dias de início da retirada da carga, com pequenas variações ao longo de 1 a 2 anos seguintes. Para este ponto do aterro, a estabilização deste recalque por completo acontece quando se atinge um valor em torno de 6,50 cm, conforme indicam os gráficos.

### 3ª Solução - Construção de aterro leve com núcleo de poliestireno expandido (EPS)

Para o desenvolvimento desta solução, foram considerados os mesmos parâmetros das investigações geotécnicas, geometria da pista, larguras de faixas e posicionamento planialtimétrico. De posse dos parâmetros do bloco de EPS, foi possível modelar a execução do aterro e analisar os recalques previstos, com o auxílio do *software* Sigma/W.

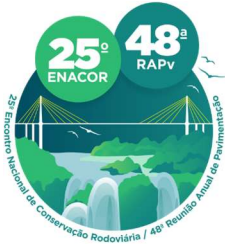
Os parâmetros de resistência e caracterização possíveis para os blocos de EPS, a serem indicados na execução do aterro, foram extraídos de estudos realizados por Avesani Neto (2008) e Sakamoto (2018).

Parâmetros definidos e utilizados para os blocos de EPS na modelagem:

- Peso Específico: 0,30 KN/m<sup>3</sup>
- Resistência à compressão simples: 220 KPa
- Módulo de elasticidade: 9000 KPa
- Coeficiente de Poisson: 0,10
- Ângulo de atrito: 37°
- Coesão: nula

Percebe-se que o peso específico do bloco de EPS é muito inferior se comparado com outros materiais utilizados em aterros rodoviários, visto que, o poliestireno expandido é uma espécie de espuma muito leve composta por células fechadas, rígidas e plásticas.

A geometria do bloco adotada foi 4,0m x 0,5m x 1,2m. Assim, foi possível projetar uma camada de EPS, totalizando 0,5 metros de altura e 13,20 metros de largura (Figura 6).



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)

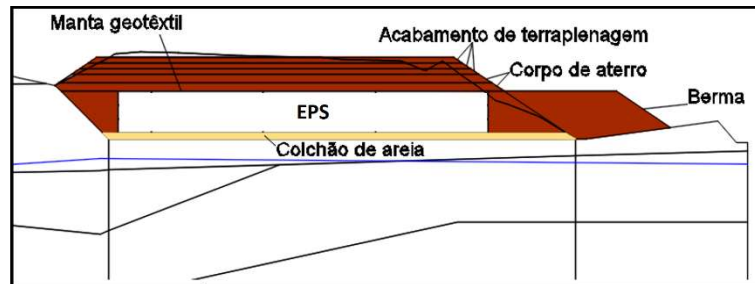


Figura 6: Seção do projeto com uso de EPS.

O solo utilizado para envelopamento e confinamento dos blocos de EPS, foi uma argila disponível na região, com os seguintes parâmetros de resistência:

- Peso Específico:  $17,5 \text{KN/m}^3$
- Módulo de elasticidade:  $18000 \text{KPa}$
- Coeficiente de Poisson:  $0,3$

Além da utilização desses materiais, foi prevista a execução de um colchão de areia de regularização anterior ao assentamento dos blocos de EPS. Foi aplicado ainda, uma manta geotêxtil após os blocos. A figura a seguir mostra o gráfico do recalque em função do tempo, no aterro com emprego do EPS.

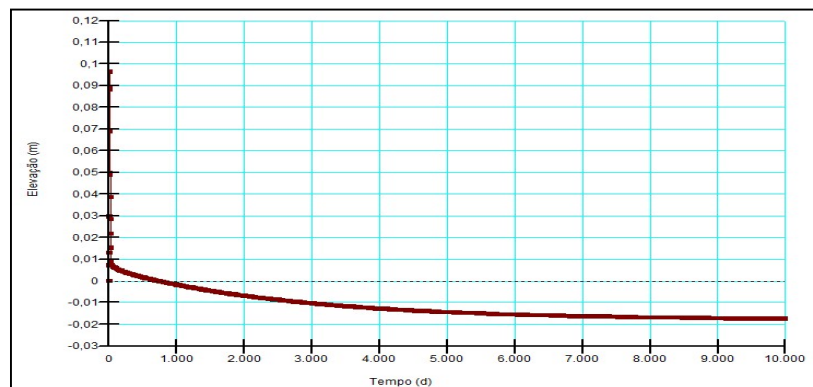


Figura 7: Solução com uma camada de EPS após 10.000 dias.

Observa-se que a solução com uma camada de EPS não atende às expectativas para o estudo de caso, visto que os recalques continuarão ocorrendo com lentidão por um longo período.

## CONCLUSÃO

Considerando que o local em estudo apresentou uma camada de solo compressível com espessura média de 10 metros, a remoção total do material compressível e substituição por material de características geotécnicas adequadas foi uma solução descartada, pois geraria um elevado volume de solo a ser removido, além do risco de rompimento da pista antiga (Pista Sul), que poderia acarretar a total interrupção do tráfego na rodovia. As bibliografias consultadas indicam o uso desta técnica para até 4,0 metros de espessura da camada de solo mole.

Após as análises e estudos computacionais para as soluções supracitadas, chegou-se à conclusão, do ponto de vista técnico, que apenas duas delas poderiam ser executadas para o caso estudado, conforme Tabela 3.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

**Tabela 3:** Análise técnica das soluções propostas. (Autores, 2020)

Solução	Atende tecnicamente?
Remoção do solo mole	Não
Uso de geodrenos na fundação do aterro e aplicação de sobrecarga temporária	Sim
Uso de geodrenos na fundação do aterro sem utilização de sobrecarga	Sim
Uso de EPS no núcleo do aterro	Não

Na engenharia geotécnica são comuns casos que envolvam a execução de obras sobre solos compressíveis. No caso da engenharia rodoviária, diferentes soluções geotécnicas podem ser adotadas levando-se em consideração as restrições técnicas, os custos da obra, de sua manutenção e a disponibilidade de prazo para se decidir sobre a melhor técnica construtiva. Desta forma, cabe ao projetista avaliar a situação e circunstância em que o projeto está inserido, avaliando cautelosamente as restrições impostas pelo local.

Sendo assim, considerando perfeitas circunstâncias técnicas, econômicas e de tempo, pode-se concluir, com base nos parâmetros adotados e análises efetuadas que a melhor solução para o local é a execução do aterro considerando o uso de geodrenos.

Tecnicamente, o uso de EPS foi descartado devido seu comportamento no estudo de caso analisado. O uso de geodrenos associada a sobrecarga de 3,0 metros mostrou-se tecnicamente viável, visto que é capaz de estabilizar os recalques na fundação do aterro, porém, demanda um período maior de interdição da pista ao tráfego. Observasse pelos estudos apresentados que o uso de sobrecarga fornece um maior adensamento na fundação do aterro. Nos gráficos que representam o recalque em função do tempo deste tipo de solução, o solo apresenta expansão quando o aterro sofre alívio de tensão. Tal fenômeno pode ser explicado pela utilização da modelagem do material com comportamento linear elástico. Esse tipo de modelo é escolhido devido à sua menor complexidade nas análises, embora não represente com precisão o comportamento real dos materiais. Portanto, com base nos gráficos apresentados, é necessário realizar estudos adicionais para analisar e compreender melhor a expansão do solo.

Na escolha da solução com aplicação de sobrecarga temporária, é recomendado que seja adotada por um período máximo de 30 dias. As análises demonstraram que tanto a permanência por 30 dias quanto por 50 dias alcançam resultados semelhantes.

Cabe ressaltar que em um estudo comparativo para obtenção da melhor solução, do ponto de vista técnico e/ou econômico, muitas variáveis podem influenciar na decisão final, tais como necessidades do cliente, condicionantes físicas e de tempo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2020) *NBR 6484: Sondagens de Simples reconhecimento com SPT: Método de ensaio*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ALMEIDA, M.S.S. e MARQUES, M.E.S. (2010) *Aterros sobre solos moles: projeto e desempenho*. (2ª ed.). Editora Oficina de textos, São Paulo.
- ALVES FILHO, C.E.S. (2010) *Correlações para obtenção de parâmetros geotécnicos de argilas compressíveis com utilização de penetrômetro dinâmico leve*. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – NUGEO, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- AVESANI NETO, J.O. (2008) *Caracterização do Comportamento Geotécnico do EPS através de Ensaio Mecânicos e Hidráulicos*. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- CARVALHAIS, R.M. (2017) *Comportamento geotécnico de aterros aeroportuários sobre fundações compressíveis: estudos e análises do aterro do aeroporto de Itajubá/MG*. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – NUGEO, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- GARG, S.K. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Sixth Edition, Krarna Publishers, Delhi, 2005.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



- KAMARUDDIN, FATIN AMIRAH BINTI et al. (2019) *Modified Natural Fiber on Soil Stabilization with Lime and Alkaline Activation Treated marine Clay* International Journal of GEOMATE, vol16, Issue 58 pp 69-75
- KEYU, CHEN et al.(2022) *Modeling and optimization of fly ash-slag-based geopolymer using response surface method and its application in soft soil stabilization* Construction and Building Materials 315
- LUKIANCHUKI, J.A. (2012) *Interpretação do ensaio SPT com base em instrumentação dinâmica*. Dissertação (Doutorado em Ciências) – Pós-graduação em Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- ROMANINI, Augusto – *Estabilização de solos moles*. 48 slides. Sinop/MT,2016. Disponível em: <[http://sinop.unemat.br/site\\_antigo/prof/foto\\_p\\_downloads/fot\\_13426aula\\_11\\_-\\_pdf.Aula\\_11\\_-\\_pdf/](http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_13426aula_11_-_pdf.Aula_11_-_pdf/)>. Acesso em: dezembro de 2019.
- SAADELDIN, R. (2013) *Geotechnical Characterization of a Clay-Cement Mix* – Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 72, pp 601 - 608
- SAKAMOTO, M. Y. (2018) *Solução geotécnica com utilização de EPS em aterros sobre solos moles: estudo de caso na complementação do aterro de encontro à ponte sobre o rio Luís Alves – duplicação BR-470*. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- SHI, K., et. al. (2023). Wettability of different clay mineral surfaces in shale: Implications from molecular dynamics simulations. *Petroleum Science*. <https://doi.org/10.1016/j.petsci.2023.02.001>
- UGWUANYI, et al. (2019) *Rheology of mechanical properties of soft soil and stabilization protocols in the developing countries-Nigeria*. *Materials Science for Energy Technologies*, v.2, issue 1, p. 8-14.
- ZAHRI, AZURA MD et al.,2019 *Na overview of traditional and non traditional stabilizer for soft soil*. *Materials Science Engineering* 527 doi:10.1088/1757-899X/527/1/012015
- ZHANG, X., ZHANG, W., WU, W., & LIU, H. (2023). *Horizontal and vertical variation of soil clay content and its controlling factors in China*. *Science of The Total Environment*, 864, 161141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161141>
- ZHOU, H., WANG, X., WU, Y., & ZHANG, X. (2021). *Mechanical properties and micro-mechanisms of marine soft soil stabilized by different calcium content precursors based geopolymers*. *Construction and Building Materials*, 305, 124722. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124722>
- ZHU, G. et al., *Rheology properties of soils; a review*. International Symposium on Resource Exploration and Environmental Science, Earth and Environmental (2017) pp 1-8.