

APLICAÇÃO DE EPS PARA ATERRO SOBRE SOLOS MOLES

THE EPS APPLICATION IN EMBANKMENT CONSTRUCTED ON SOFT CLAY

Gonçalves, Heloisa Helena Silva, *Prof. Dr. pela Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brasil, helesilv@usp.br*

Guazzelli, Maria Cecília, *Msc, Eng^a da Carlos E. M. Maffei Eng. S/C Ltda, São Paulo, Brasil, mcguazzelli@uol.com.br*

RESUMO

Foram construídos três viadutos com 14m de largura, interligados por aterros com até 12m de altura, em Várzea Paulista, São Paulo, Brasil. O subsolo da região é formado por uma camada de argila mole com até 10m de espessura apoiada diretamente no solo residual. Os aterros com até 3m de altura foram compactados sem nenhum tratamento especial; nos aterros maiores foram utilizadas duas técnicas diferentes: a compactação de aterros de pré-carga aliados à instalação de drenos fibroquímicos, para minimizar recalques futuros e a utilização de blocos de espuma rígida de poliestireno (EPS) como material de aterro. Para a elaboração do projeto foram realizados ensaios de campo e sondagens SPT e CPTU. O trabalho apresenta e discute os resultados encontrados.

ABSTRACT

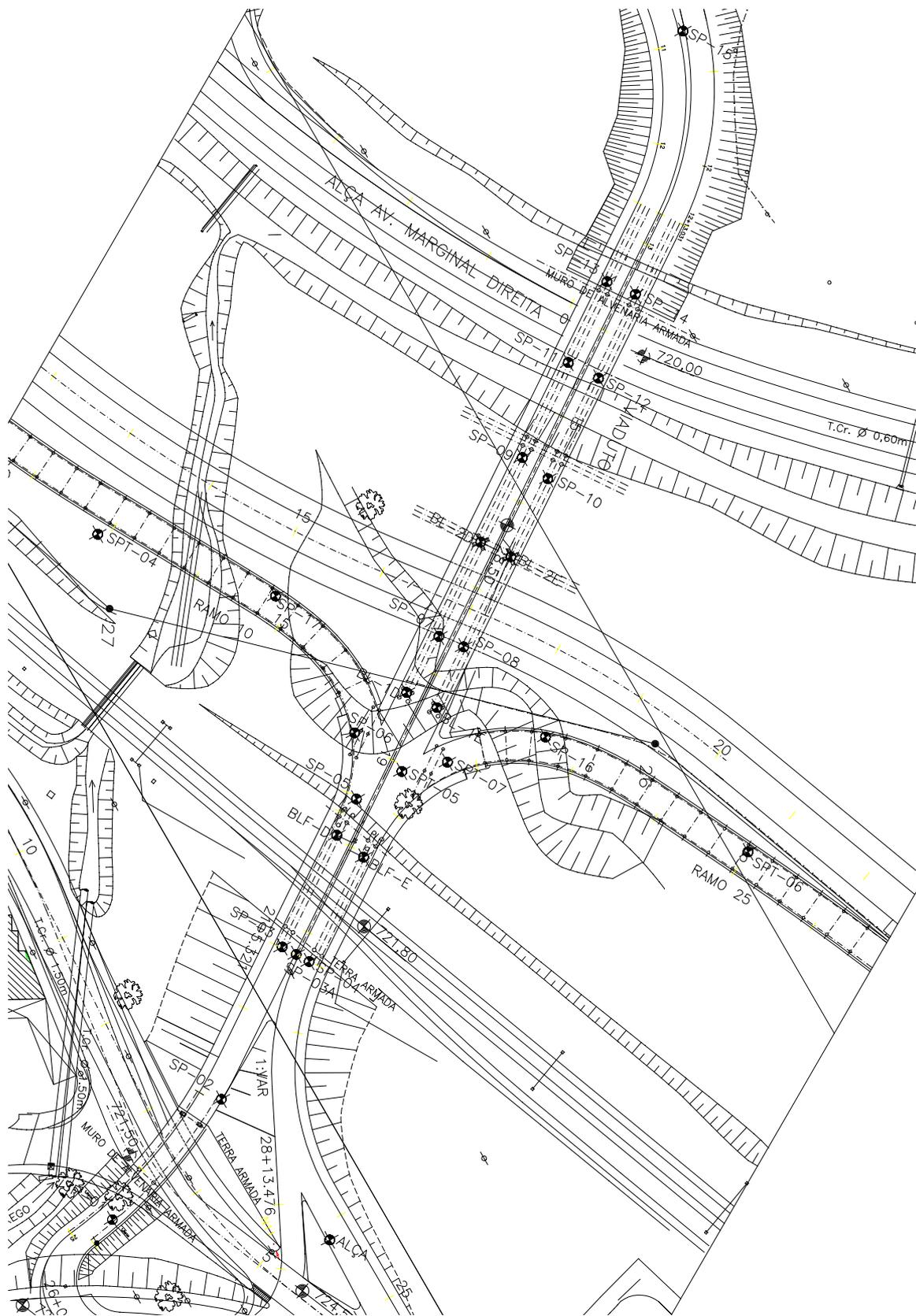
Three viaducts were built with 14m of width, interlinked for embankments with up to 12m of height, in Várzea Paulista, São Paulo, Brazil. The foundation soil of the area is formed by a layer of soft clay with up to 10m of thickness supported overlying the residual soil. The embankments with up to 3m of height were compacted without any special treatment; in the larger embankments two different techniques were used: the compaction of preload embankments allied to the installation of wick drains, to minimize future settlements and the use of rigid polystyrene foam blocks (EPS) as embankment material. For the elaboration of the project test field and percussion drilling and CPTU drilling were accomplished. This work presents and discusses the results found.

1. INTRODUÇÃO

A região de Várzea Paulista tem o subsolo formado por uma camada de argila mole com até 10m de espessura sobre o solo residual. A interligação entre duas partes da cidade divididas por uma passagem de nível foi realizada através da construção de três viadutos com 14m de largura, intercalados por aterros com até 12m de altura. A planta do anel viário está apresentada na Fig1.

Para a obtenção dos parâmetros geotécnicos necessários para a elaboração do projeto das fundações do viaduto e dimensionamento dos aterros, foram realizados ensaios de campo, como CPTU e Vane Test, além de um grande número de sondagens de simples reconhecimento com medidas de SPT.

Para as fundações do viaduto foram utilizadas estacas hélice contínua, ressaltando-se que em alguns locais o solo residual aparecia em cotas mais elevadas, inviabilizando a utilização destas estacas, que eram substituídas por estacas raiz.



Como os cálculos dos recalques que seriam provocados pelos aterros indicaram valores da ordem de dezenas de centímetros, foi utilizado o seguinte critério de projeto: os aterros com até 3m de altura foram compactados sem uso de pré-carga ou drenos; nos aterros maiores foram utilizadas duas técnicas diferentes. A primeira foi a utilização de aterros de pré-carga aliados a drenos fibroquímicos, para acelerar os recalques e minimizar àqueles posteriores à obra. A segunda foi a utilização de blocos de espuma rígida de poliestireno (EPS) como material de aterro, em duas regiões, em uma delas o talude ficaria a prumo e provocaria a ruptura do solo mole no sentido das fundações do viaduto e na outra não havia espaço suficiente para construir o aterro com a declividade necessária para o equilíbrio. A realização do aterro em etapas era inviável, pois demandaria um tempo muito grande.

A utilização de blocos de EPS para a construção de aterros sobre solo mole como base de auto-estradas ocorre desde a década de 70 em países da Europa e Estados Unidos. Este material tem um peso específico natural de $0,2\text{kN/m}^3$ o que reduz em cerca de cem vezes o peso do aterro em relação a um aterro convencional.

Para a execução de um aterro utilizando EPS como material, deve ser tomada uma série de cuidados e as especificações para a execução da obra devem ser fornecidas ao construtor. Alguns ensaios devem ser realizados no material para comprovar suas características mecânicas, que garantirão o sucesso da obra. Além de praticamente não provocar recalques, o aterro de EPS tem com vantagem a facilidade no transporte do material e a rapidez na construção.

2. ANÁLISE DO PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO E RESULTADOS DE ENSAIOS

O subsolo da região é formado por aluvião com profundidade variável entre 2m e 16m sobreposto ao solo de alteração. O nível d'água varia entre 3m e 4m de profundidade. O aluvião desta região consiste em camadas alternadas de argila orgânica com SPT variável entre 0/99 e 1, argila siltosa com SPT entre 0/83 e 3, areia fina e média argilosa com SPT entre 1 e 5 e, na base do aluvião, em quase toda a região uma camada de areia fina, média e grossa com pedregulhos, com SPT variável entre 4 e 18. O solo de alteração é formado por camadas de areia fina siltosa micácea com SPT entre 8 e 45/9, silte argiloso com SPT entre 2 e 37, silte arenoso micáceo com SPT entre 17 e 46/10. De um modo geral a distribuição das camadas é bastante errática. A Fig.2 apresenta um esquema genérico do perfil geotécnico.

Para obter os parâmetros de resistência e coeficiente de adensamento da argila mole foram executados 2 ensaios CPTU (ensaios piezocone com medida de pressão neutra) com 3 ensaios de dissipação de poro pressão e 3 ensaios Vane Test . Como não foram realizados ensaios de laboratório, os parâmetros necessários para o cálculo dos recalques foram extraídos da literatura técnica. Os valores utilizados no projeto foram os seguintes:

$$20\text{kN} / \text{m}^2 \leq c_u \leq 30\text{kN} / \text{m}^2$$

$$OCR = 1,1$$

$$\frac{C_c}{1 + e_o} = 0,20$$

$$\frac{C_r}{1 + e_o} = 0,02$$

$$C_v = 5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 / \text{s}$$

$$C_h = 1,8 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 / \text{s}$$

$$C_\alpha = 3,0\%$$

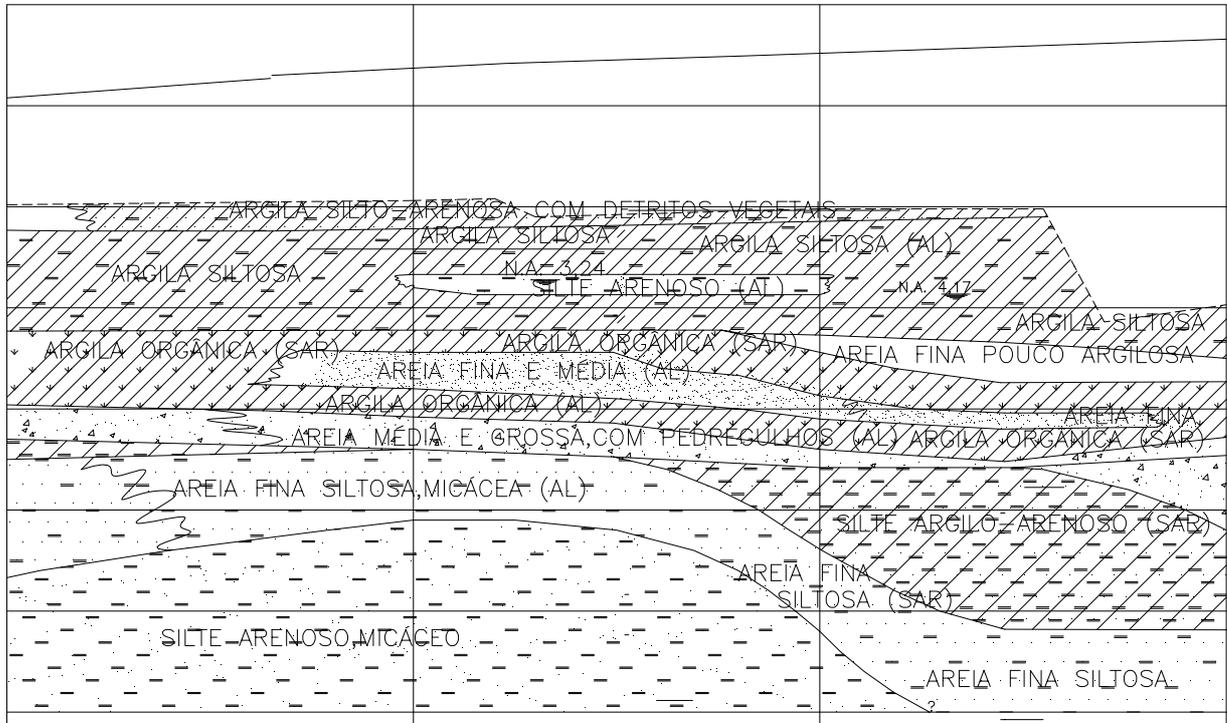


Figura 2 – Perfil geotécnico

3. ESCOLHA DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS DOS ATERROS

O aterro entre os viadutos da Rua Ipiranga e da CPTM foi executado sobre solo residual com capacidade de carga suficiente para receber a carga do mesmo, não necessitando nenhum reforço de base, apenas limpeza superficial do terreno. Os encontros dos viadutos foram executados em terra armada. Na região dos muros de terra armada foi feita uma substituição do solo superficial até que se atingisse a camada com capacidade de carga suficiente para a fundação dos muros.

Nos outros trechos os aterros foram construídos sobre a camada de argila mole. Para estes casos, foram calculados os valores totais de recalque primário e secundário ou viscoso e o desenvolvimento dos mesmos em função do tempo, com base nos parâmetros de adensamento do solo e nos perfis típicos de cada trecho. Também foram determinados os coeficientes de segurança em relação à estabilidade geral dos aterros, utilizando-se os valores de coesão não drenada de campo. A escolha da melhor alternativa para os diferentes trechos da obra foi realizada com base na análise da previsão do comportamento da camada de argila mole, juntamente com o tempo disponível para a realização de cada etapa da obra e o custo envolvido em cada solução.

Para valores de recalque de até 40 cm, com 75% ocorrendo durante a execução da obra, a melhor alternativa foi executar o aterro sem nenhum tratamento ou providência adicional. Os

outros 10 cm de recalque primário ocorreriam em 2 anos, e ocorreriam ainda 16cm de recalques secundários em aproximadamente 16,5 anos. Estes valores foram aceitos pelos clientes, já que há uma manutenção periódica do pavimento, o que torna fácil a correção de pequenas depressões.

Nos trechos com altura de aterro superior ao valor acima mencionado, os recalques que ocorreriam após a obra seriam inaceitáveis, e, quando possível, foi adotada a solução da construção de aterro de pré-carga associado à instalação de drenos fibroquímicos. Para o cálculo do aterro de pré-carga e da distribuição dos drenos foram consideradas as seguintes hipóteses: o recalque primário total e 50% do recalque por adensamento secundário deveriam ocorrer em 6 meses, após os quais as cotas seriam acertadas para a continuação da obra. Como o cronograma permitia, esta solução foi adotada entre as marginais e a rua Sorocaba,. A altura do aterro variava entre 7,7m e o nível existente do terreno e a camada de argila mole tinha uma espessura entre 8 e 6m. Os recalques foram acompanhados através da instalação de nível de referência, marcos superficiais, placas de recalque e piezômetros. A análise dos resultados da instrumentação mostrou que após 5 meses os recalques haviam praticamente se estabilizado e a sobrecarga pôde ser retirada.

No entanto, no encontro do viaduto, o aterro foi construído a prumo. Foram elaborados cálculos de estabilidade e concluiu-se que haveria uma ruptura do solo mole no sentido das fundações do viaduto. Foram estudadas duas alternativas para este encontro: a primeira seria a utilização de aterro estaqueado e a outra a utilização de blocos de EPS como material de aterro. Esta última tem sido muito utilizada no exterior, e vem apresentando um ótimo resultado. Resolveu-se adotar a utilização dos blocos de EPS para material do aterro desde o encontro com 7,70 m de altura até que o mesmo atingisse 6,20 m de altura (17,5 m de extensão), a partir daí foi feita uma transição com parte do aterro em blocos de EPS e parte em solo compactado (7,5 m de extensão), executando-se no restante do trecho o aterro compactado.

Na região do aterro entre o viaduto da R. Ipiranga e o retorno, a camada de aluvião tinha 10m de espessura e o aterro de ligação atingia até 6,37 m de altura. Não havia espaço suficiente para a construção dos taludes necessários, para impedir a ruptura, devido à existência de um córrego muito próximo. O tempo que levaria para construir o aterro em etapas era muito superior ao que se dispunha para o término da obra. Foram estudadas as alternativas de aterro estaqueado, continuação do viaduto, até que este atingisse a altura de 3,0m, e, aterro em blocos de EPS. Como haveria uma grande dificuldade em executar o estaqueamento devido a interferências aéreas, a solução implementada foi a utilização do EPS, como material do aterro.

4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS, DO MATERIAL EPS.

Desde 1965 o poliestireno expandido (EPS) é utilizado na Europa, para isolamento térmica em pistas, sendo aplicado em camadas com 3cm a 10cm de espessura. Devido à boa resistência mecânica e ao baixo peso específico do EPS, os países com grandes regiões de solo mole, como a Noruega, Suécia e Finlândia, começaram a utilizá-lo como material de aterro a partir de 1972. Segundo Leovaldo Martins, consultor da BASF, a aplicação do EPS como material de aterro ainda é muito pouco conhecida no Brasil e, esta foi a primeira grande obra deste tipo realizada no país.

O EPS como material de aterro, sobre solo mole é vantajoso principalmente quando o prazo da obra é limitado e:

- Há falta de espaço para executar o aterro com a inclinação suficiente para que não ocorra a ruptura da argila

- As camadas de solo mole são muito espessas e os recalques precisam ser minimizados.

É importante observar que este método só deve ser aplicado quando os carregamentos são distribuídos. Normalmente é executada uma laje de concreto ou é compactada uma camada de terra, cobrindo a espuma, para distribuir as cargas e servir de proteção mecânica.

A espuma rígida de Styropor, constituída por EPS (poliestireno expandido), utilizada na construção civil, é fabricada segundo a norma DIN18164, e passa por três etapas de fabricação. A primeira etapa é a de pré-expansão; a matéria prima (poliestireno expansível) é expandida pelo efeito do calor, aumentando em 50 vezes o volume inicial. A seguir o material fica em repouso, durante o qual através de um processo de difusão, entra ar liberando parcialmente o gás de expansão. Finalmente, as partículas pré-expandidas são submetidas ao vapor e voltam a expandir, soldando-se umas às outras, resultando no plástico celular compacto. Através deste processo tem-se controle sobre o valor da densidade da espuma rígida, desejado, permitindo que sejam fabricados diversos produtos para diferentes aplicações.

As propriedades deste material mais importantes, para a construção de aterros, são:

- A estrutura é rígida e absorve pouca umidade
- Apresenta boa resistência ao apodrecimento
- Não é alimento de fungos ou bactérias
- É biologicamente inofensivo ao meio ambiente
- Pode ser submetido a cargas estáticas ou dinâmicas.

O material é termoplástico e apresenta comportamento viscoso, devendo ser dimensionado para trabalhar longe da ruptura, isto é, o limite de carregamento é imposto através da deformação que não deve ultrapassar valores entre 1,5% e 2%, dependendo da densidade do material. Através de ensaios com carga permanente, foi verificado que quando o material trabalha nesta faixa, está no trecho elástico, não apresentando deformações por fluência. Por segurança, deve-se escolher no projeto a densidade da espuma rígida de Styropor de tal forma que, a deformação máxima para as cargas previstas não ultrapasse 1,5%.

O Styropor é resistente a bases, ácidos diluídos e sais. No entanto, os solventes contidos na gasolina e no óleo quando permanecem por um período prolongado, podem danificar a espuma. Normalmente a proteção mecânica (laje ou camadas de solo) é suficiente para a proteção do material, mas por medidas de segurança costuma-se envelopar o EPS com uma manta de polietileno.

O coeficiente de atrito entre os blocos de EPS é de aproximadamente 0,5, gerando uma resistência a esforços horizontais, que pode ser aumentada com a utilização de grampos entre os blocos.

5. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS E CONTRUTIVAS, DEFINIDAS NO PROJETO, PARA A UTILIZAÇÃO DO EPS.

As Especificações técnicas devem ser garantidas pelo fornecedor dos blocos de EPS. As dimensões dos blocos de EPS utilizados foram 5,30m x 1,29m x 1,05m. O material deveria apresentar em todas as suas partes uma boa ligação das partículas e uma estrutura uniforme.

O fornecedor realizou ensaios para comprovar que o produto apresentava as propriedades físicas definidas pela BASF para este material, ou seja:

- O desvio máximo na perpendicularidade dos blocos de EPS não deveria exceder 3mm, para um comprimento de aresta de 500mm.
- O desvio máximo permitido nas medidas dos blocos foi de $\pm 0,5\%$ tanto no comprimento, como na largura e altura do bloco. Diferenças nas superfícies horizontais dos blocos instalados não deveriam superar 7mm num comprimento de 4,0m e 4mm numa largura de 1,0m.
- O valor real da densidade aparente do bloco de EPS no estado seco, deveria ser igual à densidade aparente especificada ($0,2\text{kN/m}^3$). Os desvios da densidade não poderiam ser superiores a 10% em relação aos valores inferiores, ou seja, a densidade aparente deveria ser maior que $0,18\text{ kN/m}^3$.
- A tensão de compressão necessária para provocar uma deformação de 10% deveria apresentar como média o valor mínimo de 110kN/m^2 e, nenhum valor inferior a 100kN/m^2 .
- A resistência à flexão deveria apresentar como média um valor mínimo de 220kN/mm^2 e nenhum valor inferior a 200kN/mm^2 .
- A absorção de água em amostras de 50mm de comprimento não deveria ultrapassar 7% em volume, após 7 dias de imersão.

A Construtora foi responsável por aferir os resultados das especificações técnicas exigidas e, garantir a execução da obra, conforme as seguintes especificações construtivas:

- Construção de uma camada drenante na base do aterro para que os blocos de EPS fossem colocados acima do nível do lençol freático.
- Todas as camadas dos blocos de EPS deveriam ser apoiadas em superfícies planas e limpas. Para apoio da 1ª camada de EPS, foi colocada areia como suporte para os blocos. O desvio máximo do nivelamento desta camada foi de $\pm 1\text{cm}$ em 4m.
- Os blocos de EPS foram montados conforme os desenhos apresentados no projeto, apoiados em toda a superfície, sem áreas vazias, nem espaços intermediários. O arranjo dos blocos minimizou a continuidade vertical das juntas, através da rotação de 90 graus no sentido de colocação dos blocos, para duas camadas consecutivas. Nas figuras 3 e 4 estão ilustrados estes arranjos, através de um corte longitudinal e um corte transversal. Para evitar, durante a construção, um deslizamento os blocos de EPS foram unidos com os elementos de fixação detalhados no projeto, evitando deslizamento durante a construção.
- Os blocos de EPS foram assentados de forma a se “encaixar” uns contra os outros em todos os lados. Os espaços máximos admitidos foram de 25mm de largura e não foram preenchidos com solo ou qualquer outro material, por recomendação da BASF.
- Quando necessário, durante o período construtivo, a água era bombeada, até que houvesse um peso suficientemente grande, que evitasse a flutuação dos blocos.
- Os blocos de EPS, já colocados, eram cobertos imediatamente, quando ocorriam ventos fortes.
- Os trabalhadores não podiam fumar ou fazer fogueiras durante a obra.
- Os blocos de EPS foram protegidos através da execução de um aterro com altura mínima de 1m. Além disso, a proteção contra produtos químicos foi garantida através da colocação de mantas impermeabilizantes, acima dos blocos de EPS. Esta proteção foi feita inclusive nas saias dos taludes; as mantas de polietileno, na cor azul, tinham largura de 6,0m. Na sua colocação foi previsto um transpasse de 1,0m, tanto na longitudinal como na transversal.
- Para evitar uma interface de baixo ângulo de atrito entre a manta de polietileno e os blocos de EPS, foi colocada uma camada relativamente fina (50 mm no mínimo) de areia entre o topo da camada superior dos blocos de EPS e a manta de polietileno.

As fotos apresentadas nas figuras 5 e 6 mostram alguns aspectos da obra. Quando o aterro começou a ser erguido as duas primeiras camadas de EPS, que haviam sido colocadas, não estavam com as dimensões de acordo com as especificações. Estas camadas tiveram que ser retiradas, corrigidas as dimensões dos elementos, e, depois recolocadas. Após o ocorrido, todos os blocos chegaram com as dimensões corretas, não tendo sido necessária nenhuma nova intervenção.



Figura 5 – Foto 1

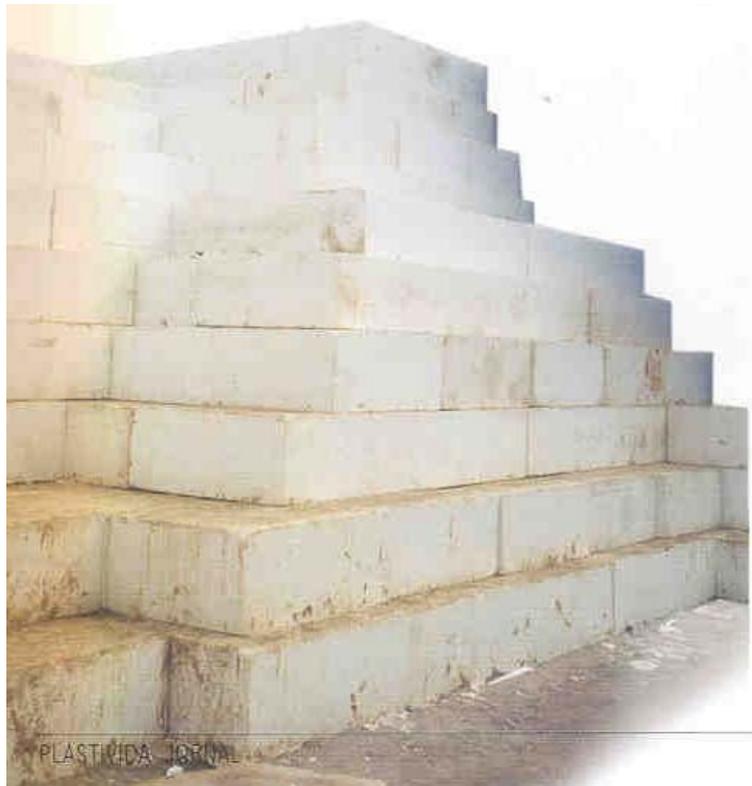


Figura 6 – Foto 2

6. COMENTÁRIOS FINAIS

A escolha da melhor alternativa para executar aterros sobre solos moles deve ser realizada com base na análise da previsão do comportamento da camada de argila mole, juntamente com o tempo disponível para a realização de cada etapa da obra e o custo envolvido em cada solução.

O EPS tem sido utilizado em alguns países da Europa, como material de aterro sobre solo mole desde 1972, devido à boa resistência mecânica e ao seu baixo peso específico. É importante observar que este método só deve ser aplicado quando os carregamentos são distribuídos. Normalmente é executada uma laje de concreto ou é compactada uma camada de terra, cobrindo a espuma, para distribuir as cargas e servir de proteção mecânica.

O EPS como material de aterro, sobre solo mole é vantajoso principalmente, quando o prazo da obra é limitado e,ou:

- há falta de espaço para executar o aterro com a declividade suficiente para que não ocorra a ruptura da argila
- as camadas de solo mole são muito espessas e os recalques precisam ser minimizados.

Isto ocorreu na obra apresentada e, o EPS foi utilizado apenas em duas regiões, devido ao custo elevado do material: na primeira o talude ficaria a prumo e provocaria a ruptura do solo mole no sentido das fundações do viaduto e na segunda não havia espaço suficiente para construir o aterro com a declividade necessária para o equilíbrio. A realização do aterro em etapas era inviável, pois demandaria um tempo muito grande.

Para a execução de um aterro utilizando EPS como material, deve ser tomada uma série de cuidados e as especificações para a execução da obra devem ser fornecidas ao construtor. Alguns ensaios devem ser realizados no material para comprovar suas características mecânicas, que garantirão o sucesso da obra. Além de praticamente não provocar recalques, o aterro de EPS tem com vantagem a facilidade no transporte do material e a rapidez na construção.

Os aterros de EPS foram executados em poucos dias e não apresentaram recalques. A obra foi concluída em 2001.

Os aterros de EPS foram executados em poucos dias e não apresentaram recalques. A obra foi concluída em 2001.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Carlos E. M. Maffei Eng. S/C Ltda, responsável pelo projeto e ao consultor da BASF, Leovaldo Martins, pela colaboração, esclarecendo as dúvidas sobre o comportamento do material e indicando a bibliografia especializada no assunto.

8. BIBLIOGRAFIA

Información Técnica, BASF, janeiro, 1988.

Expanded Polystyrene Foam as a Light Weight Foundation Material in Road Pavement Structures, Delft University of Technology, novembro, 1990.