

**XII-091 - ALTERNATIVA TECNOLÓGICA PARA UTILIZAÇÃO DE SOLO
POTENCIALMENTE EXPANSIVO EM SERVIÇOS DE TERRAPLENAGEM NA
REGIÃO DO COMPLEXO INDUSTRIAL PORTUÁRIO GOVERNADOR
ERALDO GUEIROS-SUAPE/PERNAMBUCO**

Dayana Florentino Santos⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestre em Tecnologia Ambiental pelo Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP).

Mateus Rosas Ribeiro Filho⁽²⁾

Possui graduação em Agronomia (UFRPE), Mestrado em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) (UFLA) e Doutorado em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) (UFLA). Atualmente é professor adjunto 4 da UFRPE, atuando no Curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Agronomia-Ciência do Solo.

Sônia Valéria Pereira⁽³⁾

Graduada em Química Industrial (Unicap), Mestrado e Doutorado em Botânica (UFRPE). Membro do Corpo Docente do Mestrado Profissional em Tecnologia Ambiental do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP).

Endereço⁽³⁾: Av. Prof Luiz Freire, 700. Cidade Universitária – Recife – PE. CEP: 50.740-540 – Brasil. Tel.: (81) 3183-4226 – e-mail: dayanafs@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho apresenta estudo desenvolvido em solos potencialmente expansivos para utilização em serviços de terraplenagem na área destinada à construção da Refinaria Abreu e Lima no Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros-Suape, Pernambuco. Durante a execução dos serviços de terraplenagem foi identificada a presença predominante de solo potencialmente expansivo, não sendo possível atender as especificações técnicas definidas em projeto para sua aplicação direta. O objetivo deste trabalho foi avaliar alternativas de uso deste solo através da mistura de solos com diferentes percentuais de expansão, em proporções adequadas para atender às especificações do projeto de terraplenagem. A metodologia adotada considerou como referencial técnico os dados decorrentes de estudos geotécnicos prévios e os realizados durante o trabalho de campo. Os dados oriundos da pesquisa sugerem que é possível a utilização controlada de solos potencialmente expansivos mediante processos de engenharia, respeitando suas características geotécnicas e manejo apropriado.

PALAVRAS-CHAVE: Terraplenagem, Solo expansivo, Controle geotécnico.

INTRODUÇÃO

O Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros-Suape está localizado no litoral sul do estado de Pernambuco, aproximadamente a 40 km da cidade do Recife, numa região de pouca densidade populacional e ocupando áreas dos municípios do Cabo de Santo Agostinho e de Ipojuca.

O Complexo está instalado numa área de extrema sensibilidade ambiental, abrangendo áreas de preservação ambiental, com vegetação remanescente de Mata Atlântica e manguezais, além de fazer parte de uma das maiores áreas estuarinas da Região Metropolitana do Recife.

É uma região em franca expansão, com a instalação do polo petroquímico e de indústrias de apoio para abastecer este mercado, gerando crescente necessidade de infraestrutura. O maior desafio ambiental desta região é a compatibilização do desenvolvimento industrial com a preservação do meio ambiente. Neste contexto, o desenvolvimento da região com a instalação das indústrias e projetos de infraestrutura, requer a identificação, licenciamento e preparação de áreas para implantação dos novos empreendimentos, bem como para descarte dos materiais excedentes das construções.

Para a execução do projeto de terraplenagem da Refinaria Abreu e Lima na região de Suape foi identificada e licenciada uma área de aproximadamente 630 hectares. Os estudos ambientais e o projeto inicial para execução dos serviços de terraplenagem e drenagem não considerou a necessidade de empréstimo de jazidas de solos para utilização nas áreas de aterro; o projeto previu a compensação de massas dentro dos limites da área da refinaria, ou seja, o aproveitamento total do material de escavação dentro das áreas a serem aterradas, com um pequeno percentual de material a ser depositado em área de descarte de material excedente (“bota fora”).

O aproveitamento do material escavado foi condicionado às normas e especificações técnicas consideradas no projeto, que define como parâmetro a utilização de solos para aterro com potencial de expansão máximo de 4%. No entanto, no início da execução dos serviços de terraplenagem foram identificados solos com potencial de expansão muito superior aos índices definidos. Assim, para a implantação do projeto seria necessária a remoção deste material e sua substituição por solo com as características apropriadas. Surgiu então a dificuldade de identificação e licenciamento de áreas para receber o material escavado (áreas de “bota fora”) e áreas de empréstimo para fornecimento do material especificado.

A figura 01 ilustra o tipo de solo encontrado na região no início das escavações em Janeiro de 2008, apresentando intenso fissuramento resultante da perda de umidade.



Figura 01: Material da área do corte C03.

Para viabilizar a implantação do projeto e diminuir o impacto ao meio ambiente com a abertura de novas áreas de empréstimo e de “bota fora”, foi realizado um estudo geotécnico para aprofundar os conhecimentos sobre as características deste solo, bem como o desenvolvimento de técnicas de utilização e controle geotécnico dos solos potencialmente expansivos sem interferir na execução do projeto da Refinaria.

A primeira etapa do trabalho consistiu no estudo e caracterização dos solos da região, a segunda etapa foi o desenvolvimento de técnicas de mistura entre os solos procurando sua estabilização, obedecendo a um acompanhamento rigoroso de controle tecnológico desses solos.

OBJETIVO

Este trabalho tem como finalidade analisar os estudos geotécnicos realizados na área da refinaria e avaliar o comportamento de solos potencialmente expansivos da região do Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros-Suape, visando possibilitar sua utilização nas áreas destinadas a instalação da Refinaria Abreu e Lima e outros projetos de infraestrutura na região.

MATERIAIS E MÉTODOS

Solo potencialmente expansivo é um termo geralmente aplicado a qualquer solo que tenha potencial para aumentar de volume (expansão) ou reduzir de volume (contração) quando ocorre variação da umidade. O principal problema associado a um solo potencialmente expansivo é que a sua variação volumétrica pode ocasionar danos significativos nas estruturas assentes sobre ele. A seriedade dos danos depende principalmente

do clima, do tipo de construção e do uso do terreno, sendo a variação da umidade destes solos o principal aspecto a ser controlado para evitar danos significativos. (Justino da Silva, 2001).

Segundo Vasconcelos (2008), o terreno expansivo se caracteriza principalmente por ser constituído de maior ou menor grau de minerais que podem desenvolver o mecanismo de expansão. Os solos expansivos podem ser classificados em dois grupos, o primeiro originário de rochas ígneas básicas como basaltos e o segundo de rochas sedimentares como folhelhos e calcários. A área da Refinaria está geologicamente situada na “Bacia do Cabo” e é constituída por dois grandes conjuntos de rochas geneticamente diferentes, as sedimentares e as ígneas vulcânicas.

SITUAÇÃO INICIAL DO PROJETO

Os serviços de terraplenagem foram projetados para movimentar um volume de corte da ordem de 23 milhões de metros cúbicos, dos quais cerca de 21 milhões deviam ser utilizados nas áreas de aterro e 2 milhões de metros cúbicos destinados à áreas de bota-fora.

Durante a execução da terraplenagem foi constatada a ocorrência de solos potencialmente expansivos em diversos cortes. O avanço dos serviços e a realização de investigações geotécnicas buscando definir a magnitude do potencial expansivo e o volume desse material na obra, revelaram que cerca de 55% de todo o material a ser cortado apresentava expansão livre entre 4% e 35%, e pressão de expansão de até 200 kPa.

A disponibilidade de áreas licenciadas destinadas a receber o excedente das escavações (áreas de bota-fora) não era suficiente para receber cerca de 10 milhões de metros cúbicos de solos.

A região também não possui jazidas de materiais que atendessem as especificações de projeto em distâncias viáveis para execução dos serviços de terraplenagem. A área mais próxima estava situada a cerca de 20 Km do local dos serviços.

A possibilidade de descarte do material potencialmente expansivo e a exploração de novas áreas de jazidas para atender a demanda do projeto causariam um impacto ambiental significativo para a região, dificultando, inclusive, a implantação de novos empreendimentos.

Tomando como base este cenário, foram então estudadas soluções geotécnicas para viabilizar a utilização da maior parte desse material nos serviços de terraplenagem, mantendo o equilíbrio entre o volume de corte e aterro previsto em projeto.

Foram estudadas três alternativas para viabilizar a execução dos serviços de aterro sem a necessidade de substituir todo o solo potencialmente expansivo por outro de que atendessem as especificações do projeto.

Uma das soluções estudadas foi a estabilização do solo com a mistura de cal. Após estudo realizado em laboratório e a reprodução da metodologia desenvolvida em aterros experimentais, foi verificado que esta era inviável devido a dificuldade de garantir a homogeneização do solo-cal, além do tempo necessário de espera entre a homogeneização e a compactação da camada de aterro até se atingir a umidade ótima necessária.

Outro aspecto da mistura solo-cal é a quantidade de cal necessária para atender ao processo. Devido a variedade de solo potencialmente expansivo, foi determinado através dos estudos de laboratório que o percentual necessário de cal para estabilização do solo variava entre 3% e 5%. Esta quantidade em aproximadamente 10 milhões de metros cúbicos de solo se tornou inviável.

Outra solução desenvolvida foi a utilização do material potencialmente expansivo sem mistura e totalmente confinado. As camadas de aterro são executadas confinadas entre talvegues, sobre uma camada de solo selecionado, sendo executadas camadas com solo potencialmente expansivo até atingir a cota necessária para conclusão do aterro com uma camada de sobrecarga utilizando-se material selecionado. Esta solução foi utilizada em algumas áreas de aterro definidos pelo projeto.

A alternativa de estabilização do solo potencialmente expansivo, através da mistura entre eles, foi a mais viável sendo utilizada na maior parte dos aterros. Esta metodologia está apresentada ao longo deste trabalho.

MATERIAL

A execução dos aterros compactados foi realizada através da mistura entre solos com diversos potenciais de expansão, utilizando materiais provenientes dos diversos cortes explorados na área do projeto, considerando as características geotécnicas de cada um.

Os materiais escavados nas áreas de corte foram identificados e selecionados de acordo com seu potencial de expansão, sendo definidos os percentuais de mistura para utilização nas áreas de aterro.

Foram utilizados solos com potencial de expansão livre de até 25%, os solos com maior potencial expansivo foram descartados para as áreas de “bota-fora”.

O percentual de expansão livre adotado para as camadas finais de aterro foi de 12%, este valor foi considerado aceitável pela equipe de projeto após a conclusão dos estudos geotécnicos e os resultados dos ensaios de pressão de expansão. Neste caso o solo foi utilizado puro, sem misturas.

COLETA E PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

Esta etapa do trabalho teve como objetivo principal conhecer os parâmetros geotécnicos das camadas de solos e, partindo destes parâmetros, fazer correlações a fim de obter o potencial de expansão destas camadas.

Nas áreas de aterro as amostras de solos foram coletadas para realizar ensaios de compactação e de caracterização visando a liberação das camadas de aterro compactadas.

A coleta nas áreas de corte além de seguir a norma especificada, teve o cuidado com relação à representatividade da amostra, à homogeneidade de cor e à classificação tátil visual.

As amostras de solos coletadas em áreas de corte foram devidamente identificadas. As etiquetas de identificação seguiram um padrão de informações para garantir a rastreabilidade do material referente ao local e cota de coleta.

Nas áreas de aterro a coleta leva em consideração as características da praça onde está ocorrendo lançamento de solo, verificando a homogeneidade da mistura em termos de coloração, textura, nivelamento, ou qualquer outra característica que se destaque.

A coleta de amostras obedeceu aos seguintes critérios de seleção:

- a) Material procedente de um mesmo corte que apresentar homogeneidade de cor e classificação tátil visual, faz-se a coleta de uma amostra representativa para ensaios de compactação e caracterização do material.
- b) Material procedente de vários cortes, ou quando verificada a falta de homogeneização do material na camada observando-se faixas distintas, caracterizando a não homogeneidade de cor e classificação tátil-visual, faz-se a coleta de uma amostra representativa para cada uma destas faixas.

METODOLOGIA PARA UTILIZAÇÃO DOS SOLOS POTENCIALMENTE EXPANSIVOS

A metodologia para utilização dos solos potencialmente expansivos teve como base:

- a) A mistura de solos com diferentes percentuais de expansão, em proporções adequadas para garantir o atendimento à especificação do projeto.

- b) A utilização do solo sem misturas em áreas confinadas protegendo-o da ação direta das águas provenientes da precipitação pluviométrica.
- c) A utilização do solo sem misturas até a cota final de terraplenagem, em áreas definidas pelo projeto de acordo com seu uso.

MISTURA DE SOLOS COM DIFERENTES PERCENTUAIS DE EXPANSÃO

Após análise dos resultados das amostras estudadas, são realizadas em laboratório misturas de materiais provenientes de dois a três cortes, priorizando sempre na mistura a maior participação de um corte com menor potencial de expansão, objetivando atingir o percentual de expansão definido em projeto.

Estes resultados são repassados para as equipes de produção para utilizar o material das escavações nas proporções definidas em laboratório.

A proporção da mistura dos materiais nas camadas de aterro é acompanhada através da quantidade de equipamentos de escavação posicionados nas áreas de corte. Normalmente para uma mistura de 25% de material potencialmente expansivo é posicionado um equipamento de escavação no corte expansivo e três equipamentos no de menor potencial de expansão.

A descarga dos materiais nas praças de aterro é controlada, evitando-se o acúmulo de material mais expansivo em uma mesma região. O material lançado é gradeado e misturado até se obter uma camada homogênea do solo, apresentando uma uniformidade de coloração.

Os ensaios de umidade ótima e densidade máxima, parâmetros para definir o grau de compactação da camada compactada, são realizados em amostras coletadas após o lançamento e homogeneização da camada no aterro. Essas amostras são enviadas para ensaio de densidade máxima e umidade ótima no laboratório de solos instalado no canteiro de obras.

Após a conclusão destes ensaios os resultados são repassados para a equipe de controle geotécnico em campo. De posse dos resultados desses ensaios é realizado o ensaio de densidade *in situ* e determinado o grau de compactação da camada executada. Com o resultado satisfatório é realizada a liberação para seguimento dos serviços de aterro.

As figuras 02, 03 e 04 apresentam o lançamento de materiais selecionados de vários cortes, e sua metodologia executiva para compactação de uma camada de aterro.



Figura 02: Lançamento de material em camada de aterro.

Após a conclusão dos aterros são selecionadas amostras representativas da produção diária de cada área para realização de ensaios de expansão livre.

Estes ensaios servem para verificar a eficiência da metodologia utilizada. Os resultados que não atendem a especificação da mistura definida, são submetidos à análise de projeto e tratados de acordo com a localização e cota do aterro e a utilização de cada área.



Figura 03: Espalhamento e homogeneização do material.



Figura 04: Compactação de camada de aterro.

UTILIZAÇÃO DE SOLO SEM MISTURA

A utilização do solo potencialmente expansivo puro, sem misturas, diretamente nas camadas de aterro foi realizada em áreas definidas em projeto. O acompanhamento e controle destes aterros seguem a mesma metodologia definida para os aterros realizados com mistura.

Um dos critérios de execução estabelecidos foi o confinamento do material expansivo protegendo-o da ação direta das águas provenientes da precipitação pluviométrica, no entanto, aceitando-se que poderia haver

variação de umidade, tanto por ascensão capilar como por infiltrações. Nestes casos o aterro recebe uma camada de sobrecarga de solo selecionado para inibir a movimentação do maciço.

A princípio, os aterros com utilização de solos potencialmente expansivos realizados sem misturas foram executados totalmente confinados dentro dos talvegues.

Os aterros são realizados sobre uma camada executada anteriormente de material selecionado (MS) de espessura definida de acordo com a utilização da área, considerando-se a análise do nível de lençol freático de cada uma delas, respeitando ainda a condição de haver um recobrimento mínimo compactado de 2,0 m (sobre toda superfície do solo expansivo).

A espessura desta camada foi variando ao longo do processo, de acordo com as características do solo confinado (expansão livre e pressão de expansão). Nas áreas que receberam aterro direto com solo potencialmente expansivo, foram realizados ensaios de caracterização e expansão livre para registrar o potencial de expansão das últimas camadas do aterro. Estes resultados servirão como parâmetro de projeto para definição do uso da área.

PLANO DE INSPEÇÃO E TESTES

Para acompanhamento e controle geotécnico da execução dos serviços de terraplenagem são realizados os ensaios definidos na tabela 01.

A periodicidade destes ensaios foi definida através da realização de aterros experimentais, adequando a quantidade de ensaios definida em projeto para a metodologia executiva e equipamentos de terraplenagem utilizados, tomando-se como parâmetro a especificação DNER-ES 280/97.

Tabela 01 – Plano de inspeção e testes aplicados.

Ensaio	Norma de Ensaio / Ano	Objetivo	Frequência de ensaios para o corpo do aterro	Frequência de ensaios para as camadas finais (último metro)
Determinação do limite de liquidez	ABNT NBR 6459/84	Caracterizar o solo para uso em aterros controlados. Determinar o teor de umidade para o qual o solo comporta-se como líquido viscoso	01 ensaio para cada grupo de 10 (dez) amostras submetidas ao ensaio de compactação (de acordo com a ABNT NBR 7182).	01 ensaio para cada grupo de 10 (dez) amostras submetidas ao ensaio de compactação (de acordo com a ABNT NBR 7182).
Determinação do limite de plasticidade	ABNT NBR 7180/84	Caracterizar o solo para uso em aterros controlados. Determinar o teor de umidade para o qual o solo inicia a sua fase plástica	01 ensaio para cada grupo de 10 (dez) amostras submetidas ao ensaio de compactação (de acordo com ABNT NBR 7182).	01 ensaio para cada grupo de 10 (dez) amostras submetidas ao ensaio de compactação (de acordo com a ABNT NBR 7182).
Análise Granulométrica	ABNT NBR 7181/84	Distribuição dos grãos pelos seus respectivos percentuais granulométricos, caracterizando o solo pela presença dos materiais principais.	01 ensaio para cada grupo de 10 (dez) amostras submetidas ao ensaio de compactação (de acordo com a ABNT NBR 7182).	01 ensaio para cada grupo de 10 (dez) amostras submetidas ao ensaio de compactação (de acordo com a ABNT NBR 7182).
Índice de Suporte Califórnia (ISC)	ABNT NBR 9895/87	Determinar a resistência mecânica do solo, com vista a sua condição de suporte.	Não será necessária a realização deste ensaio para o corpo do aterro.	01 ensaio p/ cada grupo de 4 amostras submetidas a ensaios de compactação.
Determinação do teor de umidade natural - método "speedy test"	DNER-ME 052/94	Determinar a umidade de solos e de agregados miúdos pelo emprego do aparelho <i>speedy</i>	01 ensaio a cada 2.000 m ³ de aterro compactado.	01 ensaio a cada 500 m ³ de aterro compactado.
Massa específica aparente do solo seco (frasco de areia)	DNER-ME 092/94 ABNT NBR 7185	Determinar a massa específica aparente do solo, <i>in situ</i> .	01 ensaio a cada 2.000 m ³ de aterro compactado.	01 ensaio a cada 500 m ³ de aterro compactado.
Ensaio de compactação (massa específica aparente seca)	ABNT NBR 7182/86	Definir as características físicas do solo quanto à densidade máxima e umidade ótima, para atendimento ao controle do grau da compactação no campo.	01 ensaio a cada 5.000 m ³ de aterro compactado.	01 ensaio a cada 1.000 m ³ de aterro compactado.

O grau de compactação mínimo estatístico considerado foi de 98 % do proctor normal para o corpo do aterro e 100% para o último metro.

A umidade do solo antes da compactação da camada está compreendida entre 3 % abaixo e 3 % acima da umidade ótima.

Nos casos em que seja necessária a correção da umidade da camada lançada, é realizada nova homogeneização do material até atingir a umidade correspondente à ótima.

A figura 05 demonstra a realização de ensaios de densidade “in situ” em uma camada de aterro. A camada é liberada após atender ao grau de compactação mínimo definido.



Figura 05: Realização de ensaio de densidade *in situ*.

ENSAIOS DE EXPANSÃO

Um solo com características potencialmente expansivas nem sempre é detectado pelas investigações geotécnicas usuais para fins de fundação ou através de sondagens de simples reconhecimento. Estas características são geralmente investigadas em ensaios de compressão edométrica.

Assim sendo, para acompanhamento e validação dos serviços, além dos ensaios definidos na tabela 01, são realizados ensaios de expansão livre e pressão de expansão através de ensaios edométricos. Estes ensaios são realizados de acordo com a norma ABNT NBR 12007 – Ensaios Edométricos, sendo os corpos de prova moldados em um anel cilíndrico de 60 cm² de área, a partir de amostras compactadas na umidade ótima e peso específico aparente máximo.

No período entre Janeiro de 2008 e Maio de 2010 foram coletadas amostras amolgadas com auxílio de ferramentas manuais. As amostras foram ensacadas e etiquetadas (registradas) e levadas para realização dos ensaios geotécnicos. Os pontos de coleta foram devidamente identificados através de aparelho GPS.

Foram realizados ensaios de caracterização física completa (limite de liquidez, limite de plasticidade, granulometria por sedimentação e compactação,) em todas as amostras.

Após a conclusão dos estudos de caracterização física, procede-se a moldagem das amostras de solo nos moldes utilizados para ensaios de CBR, nas condições de umidade ótima e densidade máxima, simulando a situação de compactação de campo.

Após o preenchimento com o solo compactado, os cilindros são acondicionados de forma a evitar a perda de umidade do solo, encaminhando imediatamente para o laboratório a fim de realizar os ensaios de expansão nas condições definidas anteriormente.

Foi definida uma frequência mínima para realização destes ensaios, sendo realizados sempre para caracterização dos materiais nas áreas de corte, à medida que estão sendo escavados.

Também foram realizados ensaios nas áreas de aterro, após a mistura dos materiais provenientes de vários cortes, sendo realizado um ensaio a cada duas camadas compactadas para confirmação da eficiência da mistura, atendendo ao potencial de expansão aceito em projeto.

Ficou estabelecido pelo projeto, após a finalização do estudo e caracterização de todos os materiais potencialmente expansivos encontrados nas áreas de corte, que seria aceito nas camadas finais de aterro solos com potencial de expansão livre de até 12%.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos resultados dos ensaios realizados foi possível definir a utilização dos solos potencialmente expansivos na região do projeto, de acordo com a utilização da área e com a definição de fundação das estruturas.

A metodologia para mistura de solos com diferentes percentuais de expansão, em proporções adequadas para garantir o atendimento à especificação do projeto, se mostrou eficaz.

A maior dificuldade encontrada nesta metodologia foi a homogeneização desses materiais nas praças de aterro devido a umidade elevada de alguns materiais. Muitas vezes fez-se necessária a extensão de tempo para aeração e homogeneização com equipamentos até atingir a umidade ótima definida em laboratório para o material aplicado na camada de aterro.

Outra dificuldade encontrada diz respeito à determinação da umidade ótima e densidade máxima, parâmetros para definir o grau de compactação da camada compactada. Os ensaios são realizados em amostras coletadas após o lançamento e homogeneização da camada no aterro, desta forma a liberação da camada fica condicionada a conclusão destes ensaios.

Durante o processo de execução dos aterros controlados surgiram dificuldades de aplicação direta do solo escavado das áreas de corte. Como o solo expansivo normalmente possui uma umidade acima da ótima, a insistência de passagem dos equipamentos para atender ao grau de compactação especificada faz com que ocorra o fenômeno conhecido como “borrachudo”. A camada de aterro fica com uma aparência de “laminada” com uma parte destacando-se da outra ao longo de planos horizontais.

Para atender ao grau de compactação de projeto as camadas de aterro devem ser abertas e aeradas até atingir a umidade ótima definida para o material; e posteriormente compactadas novamente.

Outra característica detectada na execução de camadas de aterros com este material é a dificuldade de homogeneização do material, apresentando uma superfície desagregada e com dificuldade de compactação.

A figura 06 ilustra uma camada de aterro com material potencialmente expansivo lançado sem mistura ou tratamento prévio diretamente na camada de aterro, apresentando uma aparência desagregada.



Figura 06: Material potencialmente expansivo lançado sem mistura ou tratamento prévio.

A figura 07 demonstra a aparência do solo potencialmente expansivo detectado em uma das áreas de corte.



Figura 07: Material potencialmente expansivo.

Como resultado da caracterização das amostras coletadas nas regiões dos cortes, foi possível quantificar e avaliar a magnitude da ocorrência dos solos potencialmente expansivos da região do projeto.

A análise e caracterização geológica realizada por Vasconcelos (2008) nos cortes identificados como potencialmente expansivos identificou a possibilidade de existência de solos potencialmente expansivos em aproximadamente 55% dos materiais a serem escavados, tornando assim inviável a execução dos aterros de acordo com as especificações do projeto.

O resultado deste estudo possibilitou o estabelecimento das campanhas de caracterização dos cortes para utilização no processo de mistura.

PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO E CONTROLE GEOTÉCNICO

Após análise dos resultados dos estudos iniciais realizados para caracterizar os solos presentes em todos os cortes, foram estabelecidos os procedimentos para execução dos serviços de aterro compactado tomando como parâmetro a mistura dos solos provenientes dos vários cortes para atender aos critérios de projeto, principalmente quanto ao percentual de expansão.

A seguir a sequência executiva de um aterro compactado com mistura de solos potencialmente expansivos:

- a) Caracterização dos materiais dos cortes;
- b) Ensaios em laboratório para determinação da proporção de mistura destes materiais para atender a especificação de projeto;
- c) Lançamento do material dos cortes selecionados, na proporção definida em laboratório, na camada de aterro;
- d) Espalhamento;
- e) Homogeneização;
- f) Verificação da espessura da camada e coleta de amostra representativa;
- g) Ensaios de compactação para definir a umidade ótima e a densidade máxima;
- h) Compactação da camada de aterro;
- i) Determinação da massa específica aparente do solo através de ensaio de frasco de areia;
- j) Liberação da camada para nova execução;
- k) Realização de ensaios de expansão livre para verificar a eficiência das misturas;
- l) Liberação dos aterros executados após análise dos registros de todos os ensaios realizados.

Os aterros foram executados com material de 1^o categoria, com ou sem mistura, em camadas espalhadas com no máximo 35 cm antes da compactação e no mínimo 20 cm após a compactação.

Para liberação da camada e continuidade do aterro compactado foram adotados os seguintes parâmetros de projeto: grau de compactação mínimo estatístico de 98 % do proctor normal para o corpo do aterro e 100% para o último metro.

A umidade do solo antes da compactação da camada deve estar compreendida entre 3% abaixo e 3 % acima da ótima. Este parâmetro foi o mais difícil de ser mantido devido a elevada umidade dos solos potencialmente expansivos, principalmente durante e após um período de chuva.

A figura 08 apresenta o perfil de um aterro compactado com a mistura entre solos potencialmente expansivos e solos selecionados dentro da especificação de projeto, onde pode ser verificada a homogeneidade das camadas do aterro.



Figura 08: Perfil de um aterro compactado em camadas com mistura entre solos potencialmente expansivos e material selecionado.

Nas camadas finais de aterro não foram utilizados solos com potencial de expansão livre maior que 12%.

Além dos ensaios de caracterização realizados para o estabelecimento do controle geotécnico do aterro, foram realizados ensaios para quantificar a expansão livre e Pressão de Expansão das amostras, sendo registrados 1.605 ensaios no período entre janeiro de 2008 e março de 2010.

CONCLUSÕES

Considerando os resultados das investigações geotécnicas foi possível identificar e utilizar os solos potencialmente expansivos encontrados na região do projeto.

A solução encontrada alterando as propriedades dos solos potencialmente expansivos para possibilitar a sua utilização em serviços de aterro compactado mostrou-se eficaz. Contudo a grande variabilidade dos solos encontrados dificultou a aplicação do método, sendo bem sucedido na maioria dos materiais caracterizados.

É viável a execução de serviços de terraplenagem utilizando-se solos potencialmente expansivos através do processo de mistura entre solos de diferentes potenciais de expansão, após as ações tomadas e o acompanhamento do controle geotécnico, conseguiu-se utilizar de forma controlada esses materiais, conseguindo diminuir o retrabalho e aumentar a produtividade dos serviços de aterro compactado.

Foram estabelecidos procedimentos de execução de serviços de terraplenagem e controle geotécnico adequados a metodologia aplicada e esta possibilitou otimizar o aproveitamento dos materiais provenientes das

escavações, utilizando-se poucos materiais provenientes de áreas de empréstimo, diminuindo o volume de material excedente das escavações.

Tendo em vista que as características do solo potencialmente expansivo encontrados na região são alteradas em uma área de corte em intervalos de alguns metros, a escolha do método de mistura através de um controle geotécnico adequado é condicionada pelo número e tipo de solos caracterizados.

A estabilização desses solos não é necessariamente um processo padronizado, através do qual toda e qualquer propriedade do solo é alterada para melhor. Uma aplicação correta de qualquer método exige assim a identificação clara de quais as propriedades do solo que se pretendiam melhorar e o acompanhamento de sua aplicação.

Para futuras construções ou obras de engenharia leves a serem realizadas na região, dois fatores devem ser identificados quando da escolha do local destinado à execução da estrutura: as propriedades do solo relacionadas com a expansão e as condições ambientais que contribuem para a variação do teor de umidade do solo. De posse dessas informações o projeto deverá ser adaptado às condições locais para evitar danos a essas estruturas.

Os resultados alcançados nos serviços de terraplenagem da Refinaria Abreu e Lima evidenciam que o uso adequado do solo através de processos de engenharia, resultou em uma diminuição dos danos ambientais que poderiam ter sido causados sem a sua aplicação.

Desta forma é necessário concentrar esforços na gestão de recursos desses solos, no âmbito do Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros-Suape, visando o seu uso racional, com vistas a atender as necessidades atuais da região e de futuros empreendimentos.

Para isso, é necessário estabelecer estratégias de uso desses solos, respeitando suas características geotécnicas e manejando-o de modo a adequar sua qualidade para uso em projetos de engenharias.

O planejamento para execução dos aterros compactados onde estava definida a origem e destino dos materiais proveniente dos cortes a serem utilizados teve que ser revisado periodicamente para adaptar às situações dos materiais de acordo com suas características e potencial de expansão.

A escavação nas áreas dos cortes teve que ser sempre acompanhada pela equipe de controle geotécnico, para que fosse possível a identificação das mudanças das características do material durante o seu uso, a fim de aumentar a eficiência de distribuição destes durante todo o processo.

A maior dificuldade encontrada pela equipe de produção da obra foi trabalhar com material potencialmente expansivo após um período de chuva.

O material exposto, principalmente nos cortes, não apresenta suporte para os equipamentos, obrigando a recomposição dos caminhos de acesso após cada dia chuvoso.

Nesses casos o material lançado tem que ser misturado com outro de menor potencial de expansão e umidade abaixo da ótima para que seja possível a homogeneização e compactação das camadas.

Os resultados dos ensaios de controle geotécnico, os relatórios de liberação dos aterros e toda documentação necessária para identificar e rastrear os materiais utilizados nos serviços de terraplenagem servirão como parâmetro para elaboração dos projetos de fundação das estruturas da refinaria, que deverão ser adaptadas para a condição real (“as built” dos aterros).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12007**: Solo - Ensaio de adensamento unidimensional - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo - Análise Granulométrica - Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7185**: Solo - Determinação da massa específica aparente, "in situ", com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895**: Solo - Índice de suporte califórnia - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26:2000**: Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
10. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ES-280/97**: Terraplenagem - Cortes. Rio de Janeiro: DNER, 1997.
11. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ES-282/97**: Terraplenagem - Aterros. Rio de Janeiro: DNER, 1997.
12. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME-052/94**: Solos e agregados miúdos - Determinação da umidade com emprego de "Speedy" Rio de Janeiro: DNER, 1994.
13. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME-092/94**: Solos - Determinação da massa específica aparente *in situ* com emprego de frasco de areia. Rio de Janeiro: DNER, 1994.
14. FERREIRA, S.R.M. **Colapso e expansão em solos naturais não saturados devidos à inundação**. Rio de Janeiro, 1995. Tese de Doutorado-Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1995.
15. JUSTINO DA SILVA, J.M. **Variação volumétrica de uma argila contráctil-expansiva não saturada submetida a diferentes condições climáticas**. São Paulo, 2001. Tese de Doutorado-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001.
16. VASCONCELOS, E.M. **Relatório técnico final-avaliação volumétrica de solos potencialmente expansivos**. Recife: GEOTECH Engenharia. 2008.