



## **Caracterização Geotécnica de Depósito de Solos Moles com Ocorrência em Obra de Duplicação da BR-101 no Vale do Rio Curimataú-RN**

**Alexandre da Costa Pereira<sup>1</sup>, Roberto Quental Coutinho<sup>2</sup>, Ricardo Flores Severo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Professores do Departamento de Construção Civil – IFRN. e-mail: alexandre.pereira@ifrn.edu.br

<sup>2</sup>Professor do CTG-UFPE. e-mail: rqc@ufpe.br

**Resumo:** O objetivo do presente trabalho trata da apresentação de informações referentes à utilização de informações de instrumentação geotécnica e ensaios de campo em depósito de solos moles com ocorrência em obra de duplicação da BR-101 no Vale do Rio Curimataú-RN, região situada a aproximadamente 80km ao sul da Cidade do Natal, capital do Estado do Rio Grande do Norte (Brasil). O depósito objeto do presente trabalho, que sofreu ruptura durante a fase de construção, se insere no contexto da expansão do conhecimento de características e parâmetros geotécnicos de argilas moles com ocorrência em regiões litorâneas do Brasil. A sondagem geotécnica e campanhas de ensaios de laboratório realizados constataram a existência de depósito de argila com índices físicos e parâmetros de compressibilidade e de resistência ao cisalhamento característicos de depósitos em ambientes de sedimentação em regiões litorâneas no Nordeste brasileiro. Problemas diversos durante a execução do aterro para a obra de duplicação da rodovia BR101, relacionados com níveis de deformação excessivos do aterro indicados pela instrumentação e processos de ruptura ocorridos, conduziram à realização de retroanálise a partir de informações advindas dos instrumentos de controle, observações nas inspeções realizadas e de ensaios de CPTu e Vane Test realizados no local da ruptura ocorrida, que se mostraram muito úteis para a identificação da causa do desempenho insatisfatório do aterro e posterior definição da intervenção a ser adotada.

**Palavras-chave:** aterro rodoviário, solos moles, ensaios de campo

### **1. INTRODUÇÃO**

Projetos envolvendo a construção de aterros sobre solos moles, como rodovias, barragens de terra e ferrovias, tornaram-se comuns nas últimas décadas, devido ao crescimento econômico e social. Aterros sobre solos moles são caracterizados por baixa resistência e permeabilidade, e alta deformabilidade. Assim, deve-se atentar para o baixo fator de segurança durante e logo após a construção do aterro, visto que, nessas fases, o carregamento é máximo, porém a resistência do solo de fundação é mínima, por causa do excesso de poro-pressão gerado. No final da construção, com o decorrer do tempo, há uma tendência de aumentar a estabilidade, em consequência do ganho de resistência promovido pelo adensamento do solo mole (MORAES, 2002).

A experiência acumulada no Brasil, especialmente ao longo das últimas quatro décadas, ampliou de forma significativa o conhecimento da ocorrência e das propriedades geomecânicas de solos típicos regionais. Destaca-se, neste cenário, o estudo do comportamento de depósitos de argilas litorâneas, como decorrência da implantação de obras marítimas, portos, pontes, aeroportos, parque industriais, densificação de centros urbanos, dentre outros. A relevância das contribuições recentes é produto do uso de novas técnicas de investigação de subsolo e da aplicação rotineira de ensaios de laboratório dotados de instrumentação eletrônica, bem como da transposição para o Brasil da experiência internacional (SCHNAID, 2000).

O presente trabalho possui por objetivo a apresentação das características geotécnicas de depósito de argila mole com ocorrência na região do vale do rio Curimataú, próximo ao município de Canguaretama no Rio Grande do Norte bem como relacioná-las com problemas durante a execução da obra de duplicação da rodovia BR-101 no citado Estado. Para a caracterização do depósito são utilizados ensaios de laboratório e de campo, com ênfase aos dados referentes à instrumentação geotécnica do aterro objeto de estudo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A caracterização geotécnica do depósito de solo com ocorrência na obra de duplicação da BR-101 no Rio Grande do Norte, localizada conforme indica a Figura 01, foi realizada mediante a utilização de ensaios de laboratório e de campo, com ênfase aos dados referentes à instrumentação geotécnica do aterro objeto de estudo.

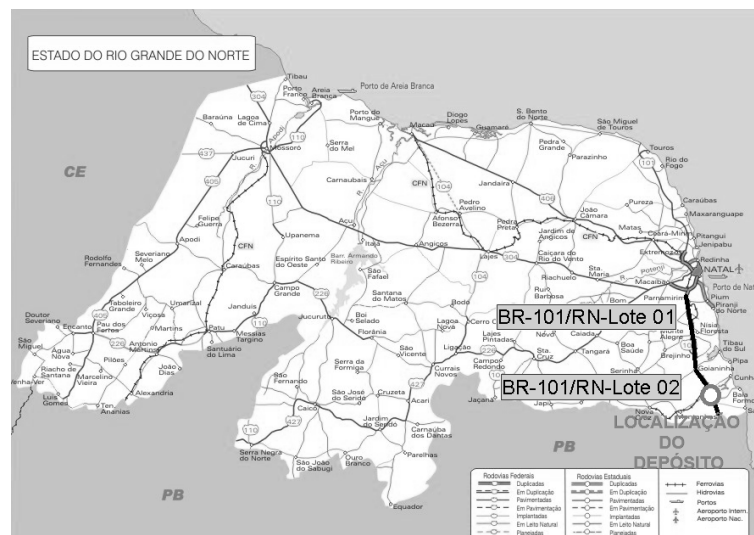


Figura 1 - Localização do depósito estudado.

O aterro sobre depósito de solos moles objeto do presente estudo consistem em obra de terra integrante da construção da duplicação da rodovia BR-101/RN (Lote 2), possuindo extensão de 1360m e altura média de 3,00m e prevista sobrecarga da ordem de 2,00m na fase da execução da obra. Os taludes têm inclinações de 1(V):1,5(H). Nesse trecho está prevista a construção de duas pontes: uma sobre o rio Espinho e outra sobre o Rio Curimataú.

Durante a cravação dos geodrenos verificou-se a ocorrência de bolsões profundos de argila orgânica, localizados em vários segmentos, não detectados na fase de projeto. Diante disso, várias campanhas complementares de sondagens a percussão foram executadas com o objetivo de diminuir os espaçamentos entre sondagens, visando definir, com bastante aproximação, as profundidades das camadas de solo moles desses bolsões. Este fato permitiu uma adequação ao projeto no que diz respeito às precauções quanto aos recalques e estabilidade a ruptura da nova configuração do conjunto aterro/fundação.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Ensaios de Laboratório

Os ensaios laboratoriais foram realizados sobre corpos de prova moldados a partir de 5 (cinco) amostras indeformadas tipo “Shelby”, ensaiadas para a obtenção de parâmetros de resistência ao cisalhamento sob condição UU, de adensamento oedométrico e de caracterização no Laboratório de Solos e Instrumentação do CT/DEC/UFPE, conduziram aos resultados apresentados nas Tabelas 01 e 02 apresentadas a seguir, que correspondem a quadros-resumo de informações contidas na documentação considerada como referência para a determinação em laboratório das características geotécnicas e parâmetros de adensamento e de resistência ao cisalhamento dos solos que constituem os depósitos em estudo:



Tabela 1 - Caracterização geotécnica dos solos.

Amostra (prof., m)	LL(%)	IP(%)	$\phi < 75\mu\text{m}$ (%)	$\phi < 2\mu\text{m}$ (%)	Ac	TMO (%)
126/01 (Z=6,2m)	57	26	94	36	0,72	7,4
132/01 (Z=3,2m)	62	25	99	30	0,83	9,6
132/02 (Z=8,2m)	72	35	99	26	1,35	9,0
132/03 (Z=13,2m)	74	35	99	32	1,09	12,2
135/01 (Z=7,2m)	66	28	99	16	1,75	11,0
Faixa para os Valores	57-74	25-35	94-99	16-36	0,72-1,75	7,4 – 12,2

Tabela 2 – Resultados de ensaios de adensamento (método Pacheco Silva) e triaxial (UU).

Amostra (prof., m)	$e_o$	$P'_o$	CR(%)	CC	CS	$S_u$ (kPa)
126/01 (Z=6,2m)	2,061	11,0	21,0	0,650	0,11	13
132/01 (Z=3,2m)	3,740	7,0	27,0	1,300	0,10	14
132/02 (Z=8,2m)	3,414	10,0	26,0	1,150	0,20	18
132/03 (Z=13,2m)	3,473	10,0	23,0	1,050	0,20	20
135/01 (Z=7,2m)	1,643	30,0	20,0	0,540	0,125	18
Faixa para os Valores	–	–	–	–	–	13-20
	3,740	30,0	27,0	1,300	0,200	

Importante ressaltar que os resultados dos ensaios triaxiais UU realizados foram obtidos a partir de amostras caracterizadas em laboratório como possuidoras de heterogeneidade de sua composição granulométrica, tendo sido verificado durante as operações de moldagem a presença de “borra, bastante areia, raízes e buracos”. Registre-se que não foram realizados estudos para a caracterização do grau de amolgamento das amostras, embora as curvas de adensamento oedométrico e, principalmente, as correspondentes aos ensaios de resistência ao cisalhamento (triaxial UU), indicam que as amostras tenham sofrido influência de amolgamento, conforme se observam nos gráficos apresentados no Relatório Final do Projeto Executivo para Adequação de Capacidade e restauração a BR-101/RN – Corredor Nordeste.

### 3.2 Ensaios *In Situ*

Com fundamentação nas informações contidas nos perfis geotécnicos SPT, apresentados no Relatório Final – Volume 3B (Estudos Geotécnicos – Tomo I-I), do Projeto Executivo para Adequação de Capacidade e Restauração da BR-101/RN – Corredor Nordeste para o trecho entre as estacas E-1130 e E-1140, temos o gráfico apresentado na Figura 2 como representativo para a região em questão.

Convém destacar que as informações contidas nos perfis SPT e resultados encontrados em laboratório para os índices físicos e parâmetros de compressibilidade e de resistência ao cisalhamento dos solos consistem em valores característicos de depósitos em ambientes de sedimentação em regiões litorâneas no Nordeste brasileiro, conforme comparações com estudos realizados em diversas regiões do litoral oriental do Nordeste brasileiro, notadamente para argilas moles com ocorrência em Sergipe (RIBEIRO, 1992; apud SCHNAID, 2000), sendo registrados para o depósito objeto do estudo valores para atividade do argilomineral ( $0,72 \leq Ac \leq 1,75$ ) superiores aos valores médios para os depósitos comparados ( $Ac \approx 1,2$ ), o que poderia ser atribuído ao maior valor para o teor de matéria orgânica ( $7,4\% \leq TMO \leq 12,2\%$ ) no depósito estudado, quando comparado ao valor médio de  $TMO \approx 4,5\%$  encontrado por RIBEIRO (1992) para Sergipe.

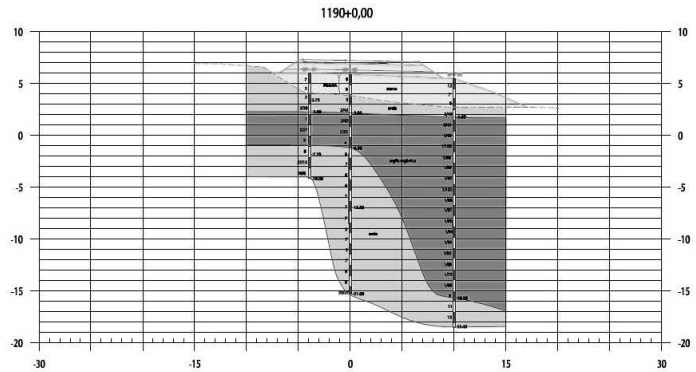
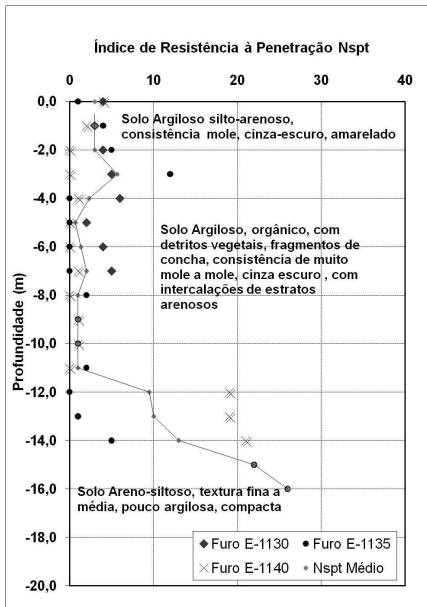
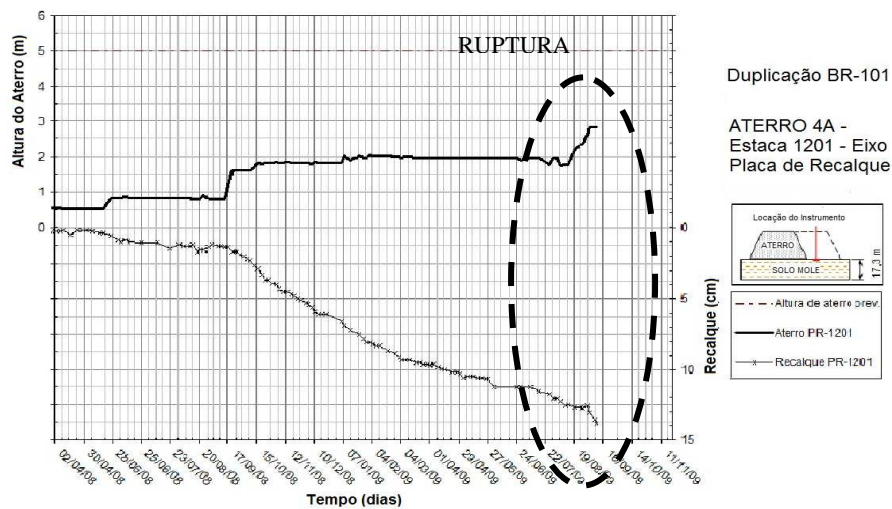


Figura 2 – Perfil típico e seção transversal na estaca 1190.

Convém destacar que após a realização do Estudo Geotécnico Preliminar para Prosseguimento dos Aterros 4, 5 e 6 do Lote 2 – BR101, o Consórcio Construtor propôs a adoção de trechos assinalados como “verde”, “amarelo” e “vermelho”, correspondendo a trechos que, respectivamente, indicariam decisões de “continuidade e manutenção das recomendações de projeto” (verde), “verificação da necessidade de intervenção e aprofundamento de estudos” (amarelo) e “intervenção necessária” (vermelho).

As figuras 3 e 4 apresentam, respectivamente, gráficos referentes ao acompanhamento do desenvolvimento de deformações (Figura 3) e de poropressões (Figura 4) para o aterro que sofreu ruptura no trecho estudado.



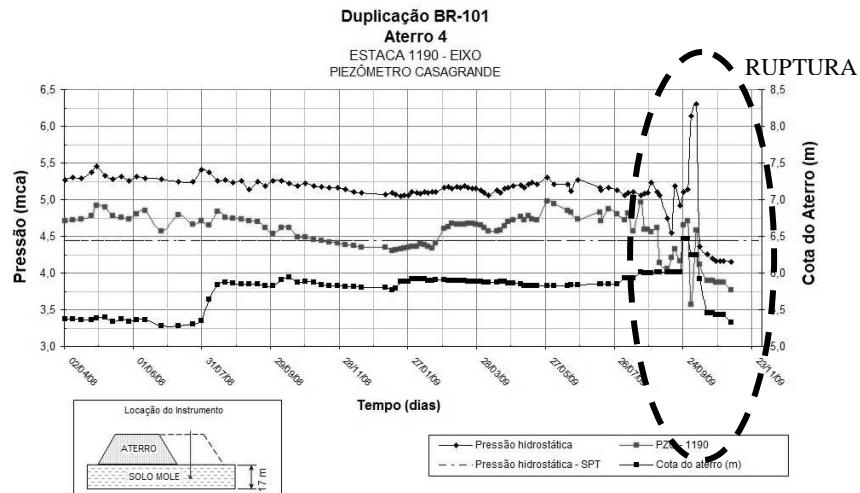


Figura 4 – Leituras piezométricas para o aterro 4.

Comprovando a existência de depósito de solos moles com características geotécnicas e dimensões diversas das consideradas para o desenvolvimento do projeto do aterro rodoviário objeto do estudo, a empresa supervisora posicionou-se dispondo que estariam em curso estudos sobre a necessidade de intervenção mediante a utilização de técnicas não previstas no projeto executivo, em virtude da constatação de regiões do depósito de solo mole possuindo camadas severamente irregulares no que diz respeito à seção transversal, correspondendo ao intervalo e entre as estacas 1188 e 1194+15,00 (“trecho vermelho”).

Após a intervenção no depósito, para a verificação dos parâmetros de resistência e de compressibilidade, foram realizados ensaios de piezocone (CPTu), palheta (Vane test) e coleta de amostras mediante utilização de tubos Shelby de parede fina. Foram realizados 10 (dez) ensaios de CPTu, que propiciaram, inclusive, a realização de ensaios de dissipação de poropressões (DPP). Os resultados dos ensaios de CPTu indicam a ocorrência de estratos de solos com características de argilas médias a rijas, bem como areias com compacidade de medianamente compactas a compactas. Constatou-se que a camada crítica (superfície amolgada pela ruptura ocorrida) se situa à profundidade de 13 a 16m.

Em relação ao estudo da estabilidade do aterro submetido à intervenção para o caso da seção identificada com forte irregularidade no sentido transversal (Estaca 1190) foi constatado fator de segurança de 0,85, conforme apresentado na Figura 5.

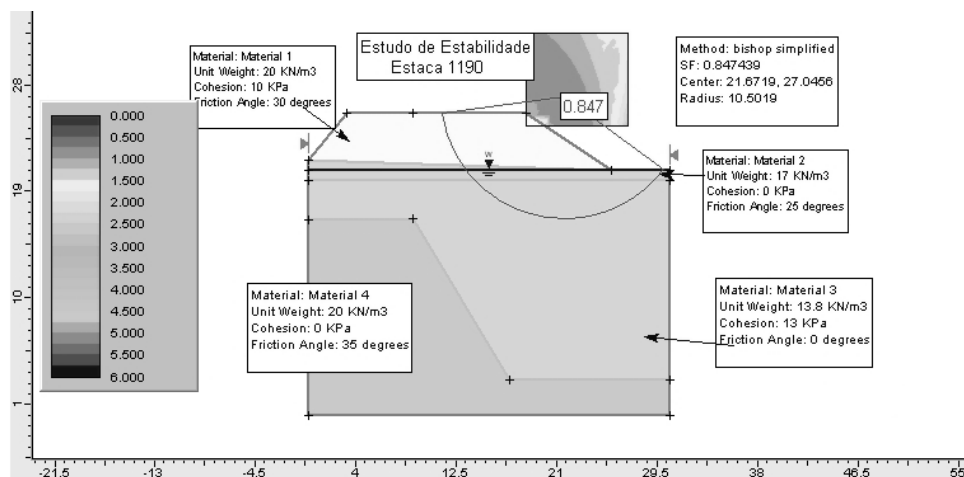


Figura 5 - Modelo de análise mediante utilizado o software Slide 5.0 (situação para seção na Estaca 1190).



#### 4. CONCLUSÕES

Trabalhos de sondagem geotécnica e campanhas de ensaios de laboratório realizados constataram a existência de depósito de argila com índices físicos e parâmetros de compressibilidade e de resistência ao cisalhamento característicos de depósitos em ambientes de sedimentação em regiões litorâneas no Nordeste brasileiro, sendo registrados para o depósito objeto do estudo valores para atividade do argilo-mineral superiores aos valores médios para os depósitos comparados, o que poderia ser atribuído ao maior valor para o teor de matéria orgânica observado para o depósito estudado.

Problemas diversos durante a execução do aterro para a obra de duplicação da rodovia BR101, relacionados com níveis de deformação excessivos do aterro indicados pela instrumentação e processos de ruptura ocorridos, conduziram à realização de análises à luz das informações advindas das sondagens à percussão em seções transversais, resultados dos instrumentos de controle, observações nas inspeções realizadas e ensaios especiais, tendo sido propostas alternativas para a intervenção no depósito, mediante técnicas não previstas no projeto original, para a obtenção de parâmetros de resistência e de deformabilidade adequados.

#### REFERÊNCIAS

- Coutinho, R.Q. e Oliveira, J.R.T. (1997). *Geotechnical Characterization of a Recife Soft Clay - Laboratory and In Situ Tests*. Proc. XIV ICSMFE., Hamburg, Vol. 1, pp 69-72.
- Moretti Engenharia Consultiva / Consórcio CONSTAN/GALVÃO/CONTRUCAP: Dados de planilhas de instrumentação geotécnica - Atividades de monitoramento geotécnico para controle da execução do aterro sobre solo mole na obra.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES: Projeto Executivo para Adequação de Capacidade e Restauração da BR-101/RN – Corredor Nordeste. Relatório Final – Volume 2: Projeto de Execução. DNIT: DPP, Setembro/2004.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES: Projeto Executivo para Adequação de Capacidade e Restauração da BR-101/RN – Corredor Nordeste. Relatório Final – Volume 3B: Estudos Geotécnicos – Tomo II. DNIT: DPP, Setembro/2004.
- MASSAD, F. **Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia**. Ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2003, 170p.
- MORAES, C.M. **Aterros Reforçados sobre Solos Moles – Análise Numérica e Analítica: Dissertação de Mestrado**, COPPE/UFRJ, Outubro, 2002.
- Relatórios de controle tecnológico da Duplicação da BR101: Consórcio CONSTAN/GALVÃO/CONTRUCAP.
- SCHNAID, F. **Ensaio de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações**. Ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2000, 198p.