

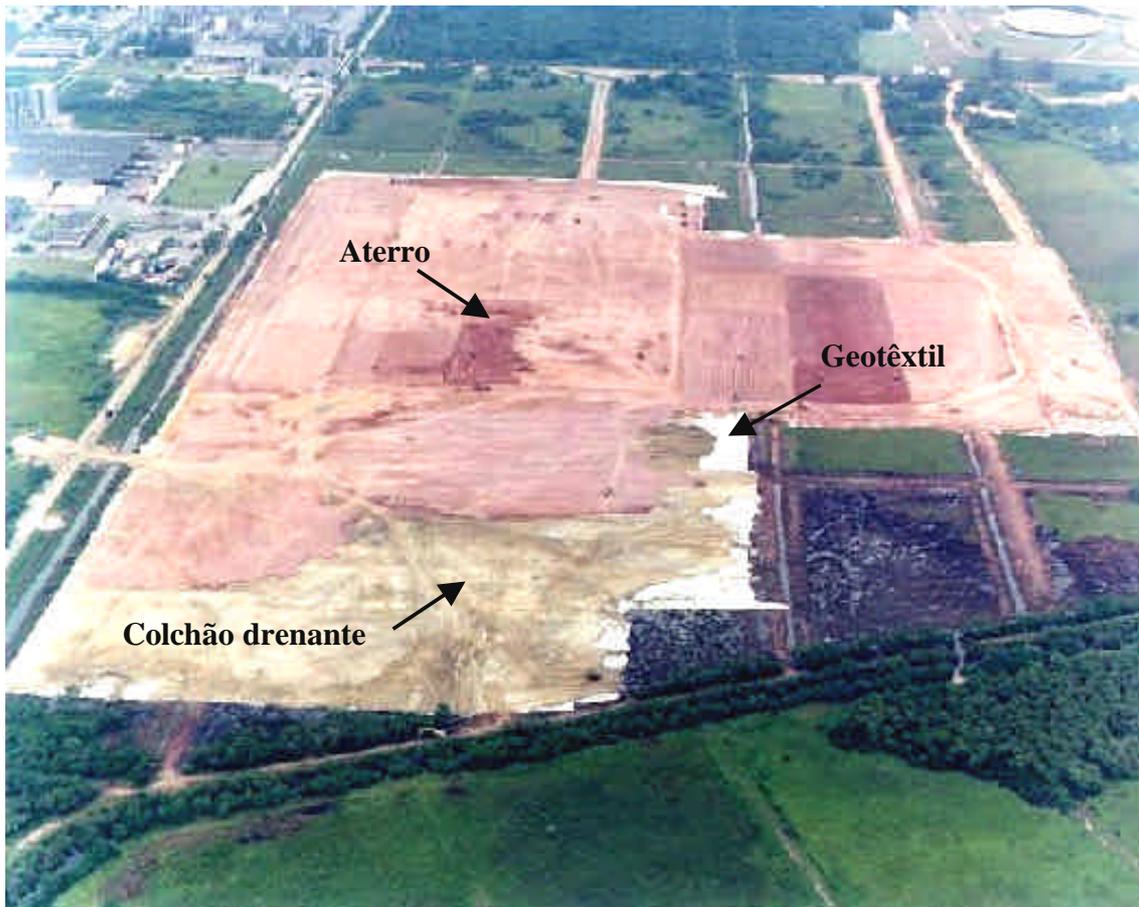
3 Histórico do local

3.1 Descrição da Obra

A obra consiste na execução de um extenso aterro para implantação da Indústria Rio Polímeros. A área escolhida localiza-se ao lado da Refinaria Duque de Caxias (REDUC), Campos Elíseos, em Duque de Caxias, Baixada Fluminense, RJ, conforme indicado na Figura 6. O aterro da Indústria Rio Polímeros possui uma área de aproximadamente 500.000 m². A Figura 7 apresenta-se fotos aéreas em dois momentos da obra.



Figura 6 - Mapa da localização do aterro



(a) outubro de 2000.



(b) Novembro de 2002.

Figura 7 - Vista aérea do aterro em dois momentos da obra

O aterro é composto de uma camada compactada de silte argiloso, assente sobre um colchão drenante. Para garantir a cota final, uniforme, de 2,50 m, a espessura do colchão variou entre 0,60 a 0,80 m, de forma a corrigir irregularidades da topografia local. A Figura 8 apresenta a planta do aterro dividida em áreas, as quais foram relacionadas às futuras instalações da indústria. Nesta figura estão também indicadas as espessuras do colchão drenante em cada região.

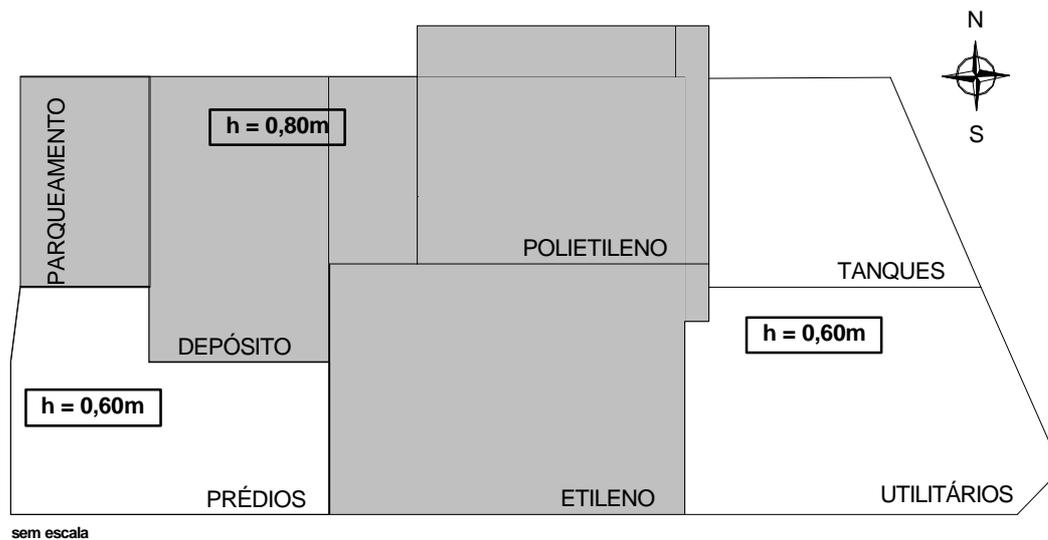


Figura 8- Planta baixa esquemática do aterro

Para acelerar os recalques na argila mole, foi executada uma camada adicional de aterro (sobrecarga), de espessura variável, a qual será removida posteriormente. A Tabela 18 apresenta as espessuras da sobrecarga em suas respectivas áreas.

Tabela 18 - Alturas do aterro e de sobrecargas no aterro. (Terratek, 2002)

| Área | Cota original do terreno (m) | Espessura da camada de areia (m) | Espessura de aterro incluindo camada de areia (m) | Espessura de sobrecarga a ser removida (m) |
|---------------------|------------------------------|----------------------------------|---|--|
| <i>Etíleno</i> | 0,80 | 0,60 | 3,00 | 0,80 |
| <i>Polietileno</i> | 0,60 | 0,60 | 3,00 | 0,60 |
| <i>Utilitários</i> | 0,70 | 0,80 | 2,90 | 0,60 |
| <i>Tanques</i> | 0,70 | 0,80 | 3,20 | 0,70 |
| <i>Depósito</i> | 0,70 | 0,80 | 2,60 | 0,50 |
| <i>Prédios</i> | 1,00 | 0,60 | 2,20 | 0,50 |
| <i>Parqueamento</i> | 1,20 | 0,80 | 2,30 | 0,90 |

Juntamente com o colchão drenante foram instalados drenos horizontais (dreno Francês) em toda área do aterro, e drenos verticais (geodrenos) em algumas regiões do aterro (vias de acesso), com a finalidade de acelerar o processo de dissipação dos excessos de poropressões gerados durante o lançamento do aterro.

Na interface entre o colchão drenante e a camada de argila mole, foi instalado um geotêxtil tecido (2008), da Amoco do Brasil Ltda, com as funções de separação e reforço. A presença do geotêxtil previne a ocorrência de rupturas locais, devido ao movimento de equipamentos durante o período de construção.

Face às condições de subsolo e a área envolvida, a implantação da obra exigiu uma ampla campanha de instrumentação e ensaios de campo e de laboratório. Um breve histórico das atividades é apresentado a seguir:

| <i>Data</i> | <i>Atividade</i> |
|----------------|--|
| AGO/SET - 2000 | realização dos ensaios SPT e de Palheta |
| AGO/OUT - 2000 | realização de ensaios de laboratório (1 ^a . fase) |
| OUT/DEZ – 2000 | construção da primeira etapa do aterro (áreas Etileno e Polietileno) |
| OUT/DEZ – 2000 | implantação da primeira etapa de instrumentação |
| NOV - 2001 | realização dos ensaios CPTU e de permeabilidade in situ |
| MAI/JUL - 2002 | construção da segunda etapa do aterro |
| ABR/AGO – 2002 | implantação da segunda etapa de instrumentação |
| JUL/DEZ-2002 | realização de ensaios de laboratório (2 ^a . fase - PUC-Rio) |

3.2

Aspectos geológicos

De acordo com Antunes (1978), os depósitos argilosos moles da Baixada Fluminense foram formados a partir de sedimento fluvio-marinho do Quaternário (6000 anos). O solo apresenta coloração cinza escura, devido ao ambiente de redução e à presença de matéria orgânica. Análises químicas, em amostras da argila mole, da região próxima ao Rio Sarapuí, indicaram teor de matéria orgânica (obtido a partir do teor de carbono) entre 4 a 6 %, teor médio de sais solúveis (sob a forma de cloretos e sulfatos de sódio) de 6 g/l e predominância de caulinita, ocorrendo ainda illita e montmorilonita (Difração de Raios-X e análise térmica diferencial).

3.3 Aspectos geotécnicos

O perfil geotécnico do local foi obtido a partir de sondagens SPT, totalizando 106 ensaios. Os furos foram realizados com o método de perfuração à percussão, usando uma camisa de 76 mm, instalada até aproximadamente 2 m da profundidade. Os ensaios SPT foram realizados para cada metro, usando um amostrador padrão de 450 mm de comprimento e diâmetros interno e externo de 38 e 50 mm, respectivamente.

Na Figura 9 apresenta-se a localização dos furos de sondagem e a variação da espessura da camada de argila mole em toda a região do empreendimento. Observa-se que a espessura da argila mole varia de 1 a 6 m, sendo que, na região do aterro, a menor espessura de argila mole é da ordem de 3 m, conforme indicado na Tabela 19.

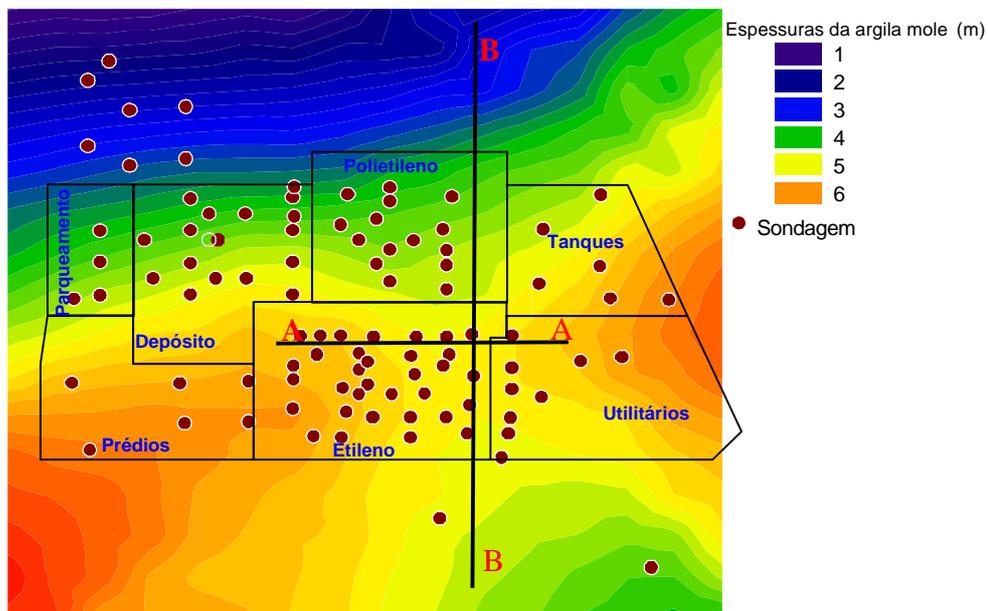


Figura 9 – Posição dos SPT's, dos perfis e espessura da argila mole (Terratek, 2002)

Tabela 19 - Espessuras de argila mole

| Localização | Espessura de argila mole (m) |
|--------------|------------------------------|
| Etileno | 5 – 6 |
| Polietileno | 4 – 5 |
| Utilitários | 5 – 6 |
| Tanques | 5 – 6 |
| Depósito | 4 – 5 |
| Prédios | 5 – 6 |
| Parqueamento | 3 - 4 |

A Figura 10 e Figura 11 apresentam os perfis geotécnicos em duas seções AA e BB, indicadas em planta na Figura 9. A camada de argila mole apresenta valores de N_{SPT} nulos ao longo de toda espessura. Subjacente a esta, encontra-se uma camada de argila siltosa e arenosa de espessura entre 5 a 12 m com N_{spt} médio de 12.

3.4

Ensaio de laboratório

Uma campanha de ensaios de laboratório foi realizada no segundo semestre de 2000. A campanha englobou ensaios de caracterização, permeabilidade, ensaios triaxiais (CIU e UU), ensaios de adensamento e análises.

3.4.1

Amostragem

As amostras indeformadas foram obtidas com amostradores Shelby e Osterberg.

A amostragem em Shelby foi feita com tubos de 100 mm de diâmetro e 600 mm de comprimento em furos de 150 mm de diâmetro. Ressalta-se que, apesar da recomendação deste tipo de amostragem ser feita por cravação estática, os serviços de cravação foram feitos por percussão seguindo solicitação do contratante.

A amostragem de pistão Osterberg foi feita por cravação estática com tubo de 100 mm de diâmetro. O equipamento consiste basicamente em um tubo interno de parede fina envolvido por outro tubo. Na Figura 12 observa-se o amostrador Osterberg, onde estão indicados: o tubo interno do amostrador (1), o pistão(2); a haste do pistão (3), os dispositivos internos (4, 5 e 6); a cabeça do amostrador (7) e o tubo exterior de proteção(8).

As amostras foram acondicionadas numa caixa de madeira, preenchida com serragem úmida, e enviadas para o laboratório, permanecendo em câmara úmida até o início dos ensaios.

Todos os ensaios seguiram as recomendações da ASTM e ABNT. Os resultados são apresentados a seguir.

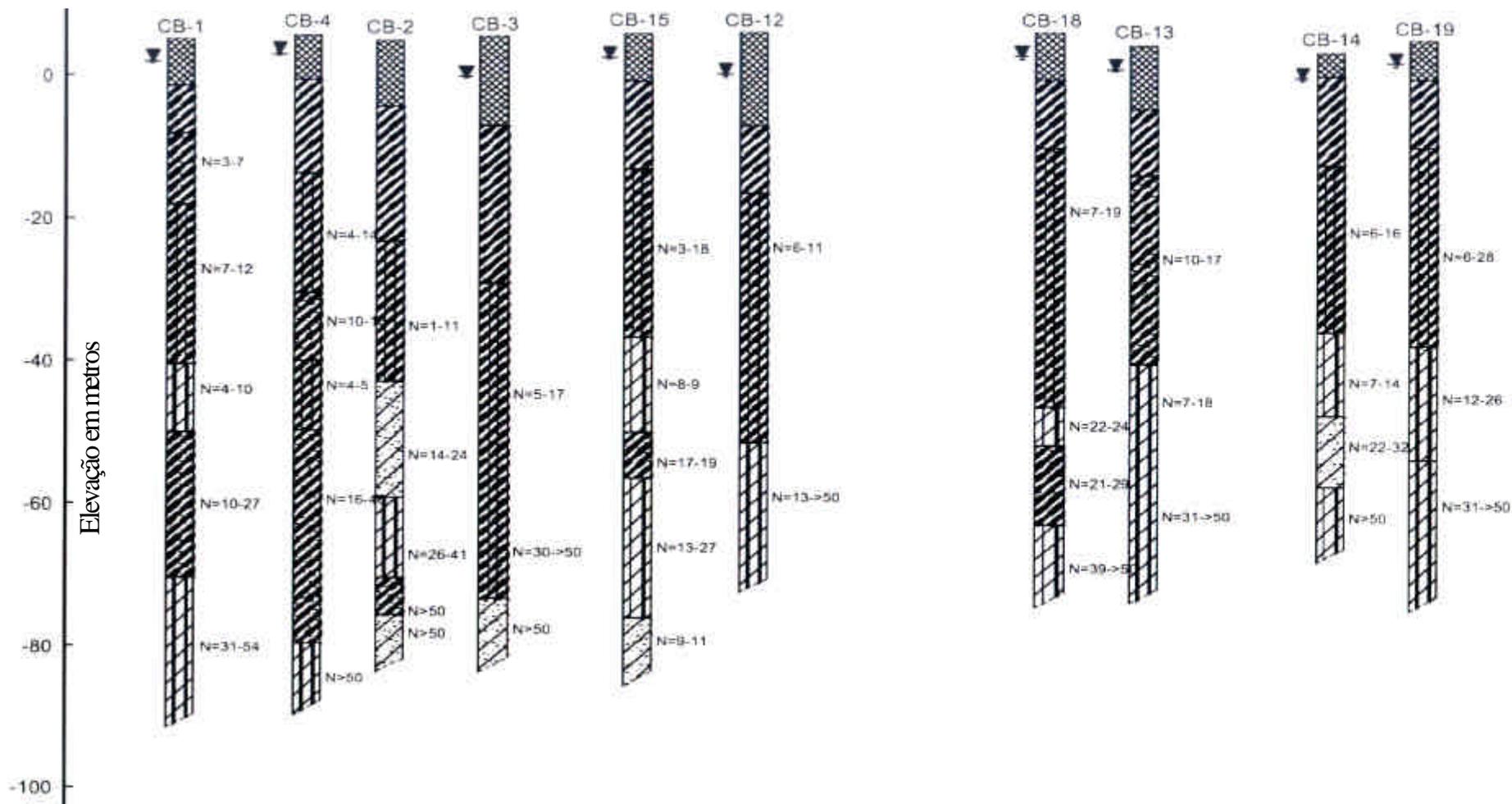


Figura 10 - Perfil de SPT – AA

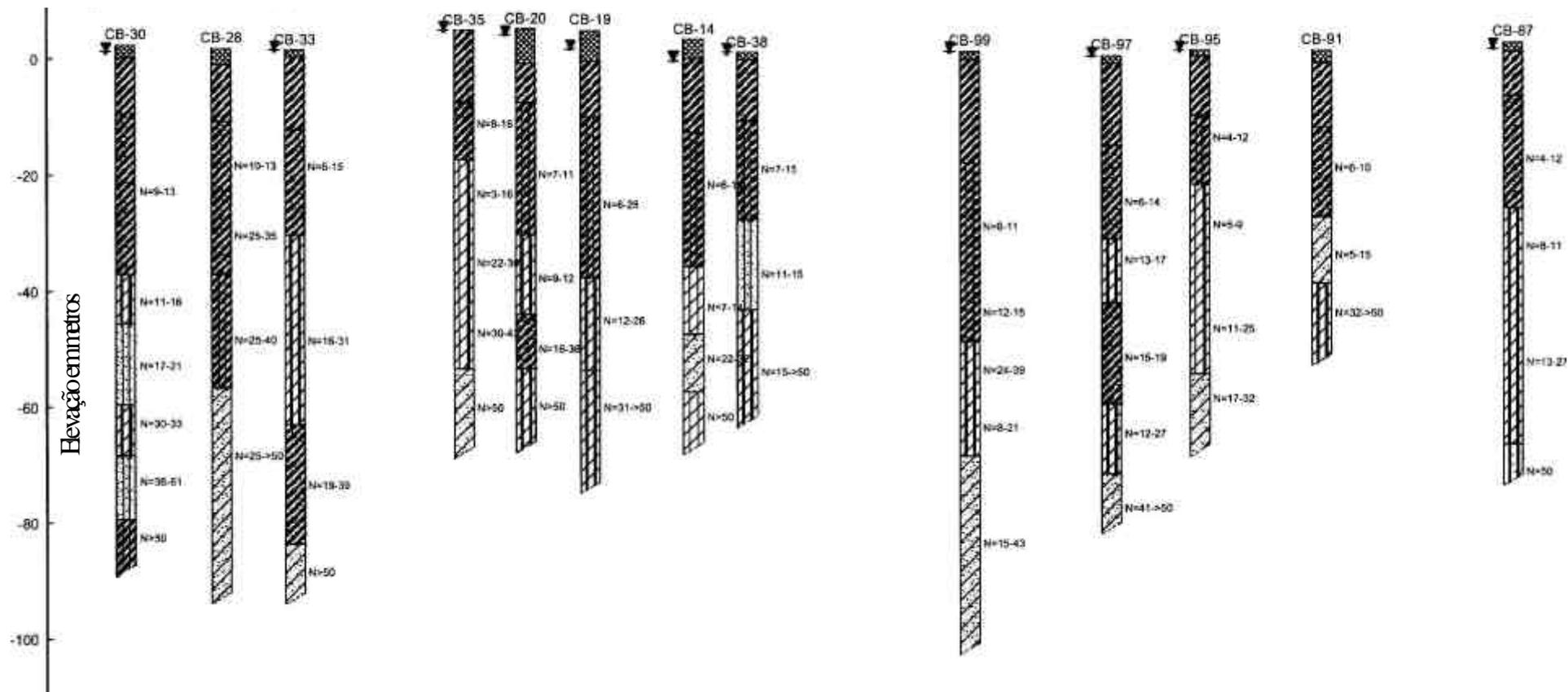


Figura 11 - Perfis de SPT - BB

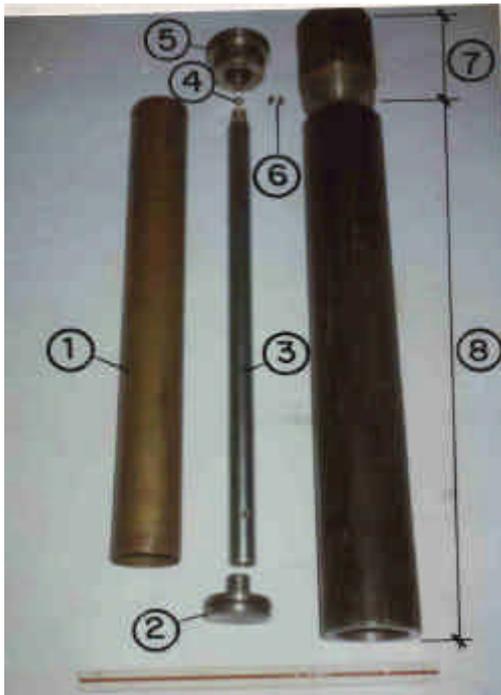


Figura 12 – Detalhe do amostrador tipo Osterberg

3.4.2 Caracterização

Os dados de caracterização do material, fornecidos pela projetista e pela empresa que realizou as sondagens, antes do início desta pesquisa, apresentaram uma dispersão muito significativa. Em particular, os valores do teor de umidade obtidos com as amostras de sondagens SPT variaram entre 20 e 200% na camada superficial de argila mole, não permitindo conclusões sobre a umidade do material.

No que se refere aos limites de Atterberg, cerca de 40 ensaios foram realizadas em amostras da área do aterro. A Figura 13 apresenta os limites de Atterberg para as três áreas de estudo. Os valores dos limites de liquidez apresentaram-se acima da umidade do material.

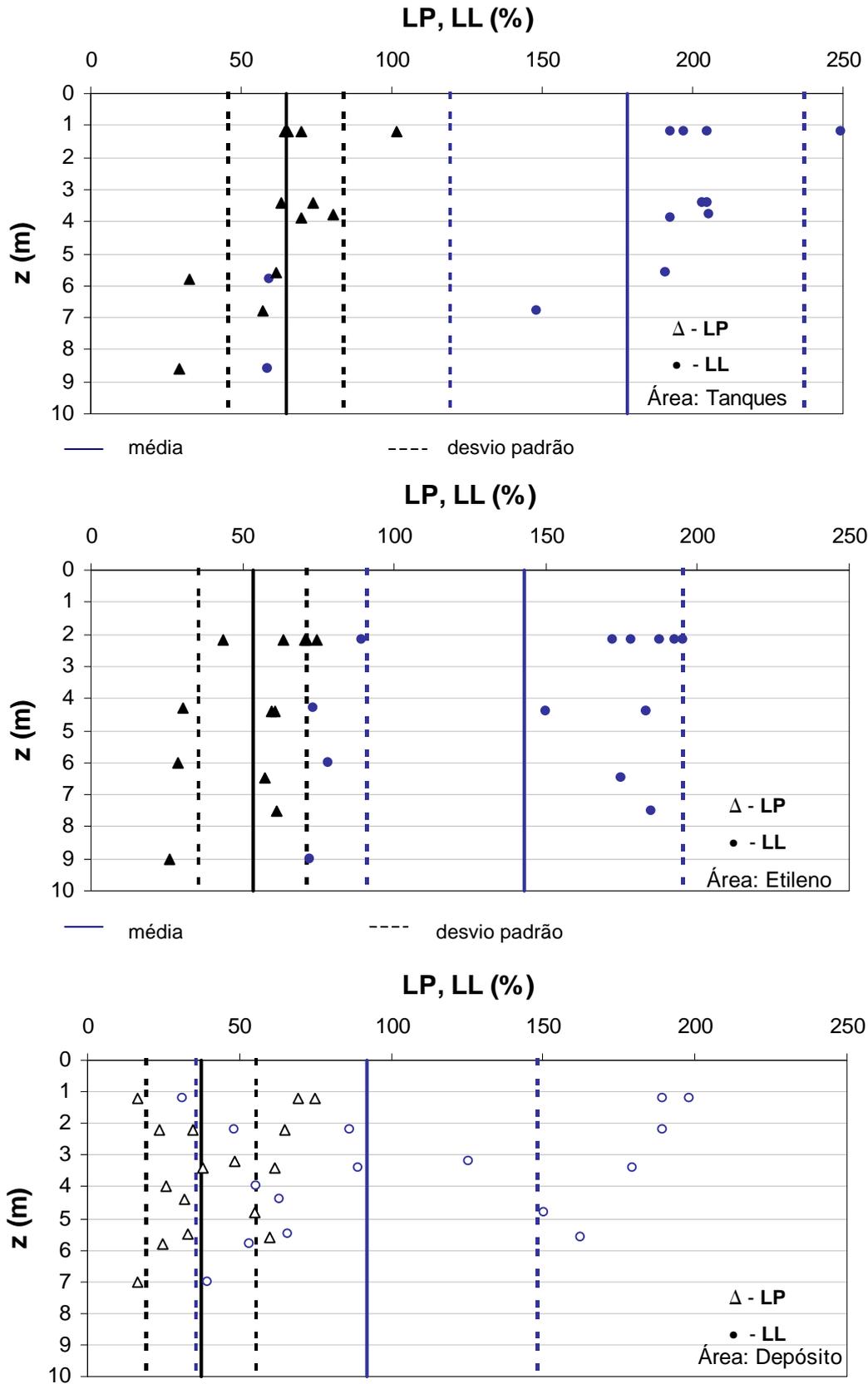


Figura 13 - Valores dos limites de Atterberg

Os ensaios de peso específico dos grãos (γ_s), realizados em 3 amostras, correspondentes a diferentes profundidades, apresentaram um valor médio de $26,3 \text{ kN/m}^3$ (Tabela 20).

Tabela 20 - Peso específico dos grãos

| Furo de sondagem | Área | Profundidade (m) | Peso específico dos grãos (kN/m^3) |
|------------------|----------|------------------|---|
| CB-41 | Tanques | 8,3 | 26,1 |
| CB-68 | Depósito | 4,4 | 26,4 |
| CB-79 | Depósito | 2,4 | 26,5 |

Análises químicas foram realizadas em algumas amostras para a determinação do teor de matéria orgânica, pH e teores de Ca, Cl, Mg e SO_4 . Analisando o pH das amostras, observa-se na Tabela 31 (Anexo 1), que os resultados dos furos CB-84 e CB-70 mostram um ambiente alcalino, já o resultado do furo CB-28 mostra um ambiente ácido.

Os ensaios de teor de matéria orgânica (M.O.) cujos resultados estão apresentados na Figura 14, indicam uma elevada dispersão na camada superficial de argila mole, porém a maior parte dos resultados apresentou teor de M.O. inferior a 10%.

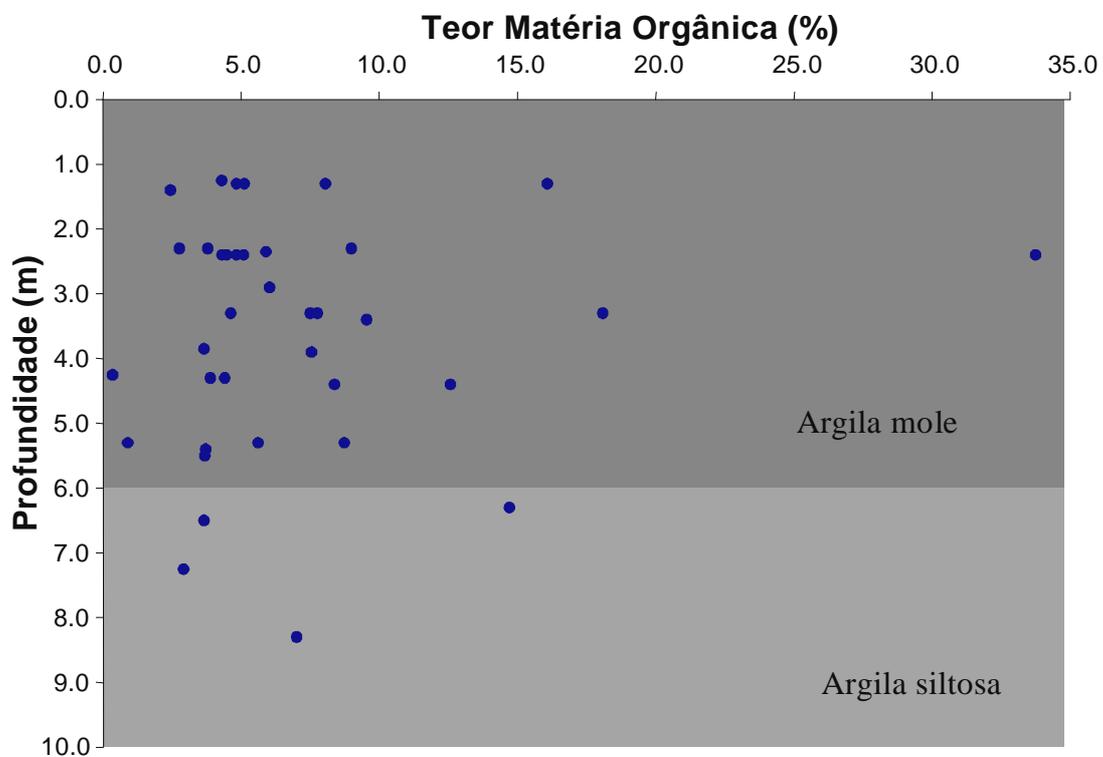


Figura 14 - Variação do teor de M.O. com a profundidade

3.4.3 Permeabilidade

Ensaio em permeâmetro com carga variável foram realizados em cinco amostras. Os resultados dos coeficientes de permeabilidade (k) estão apresentados na Tabela 21 a seguir.

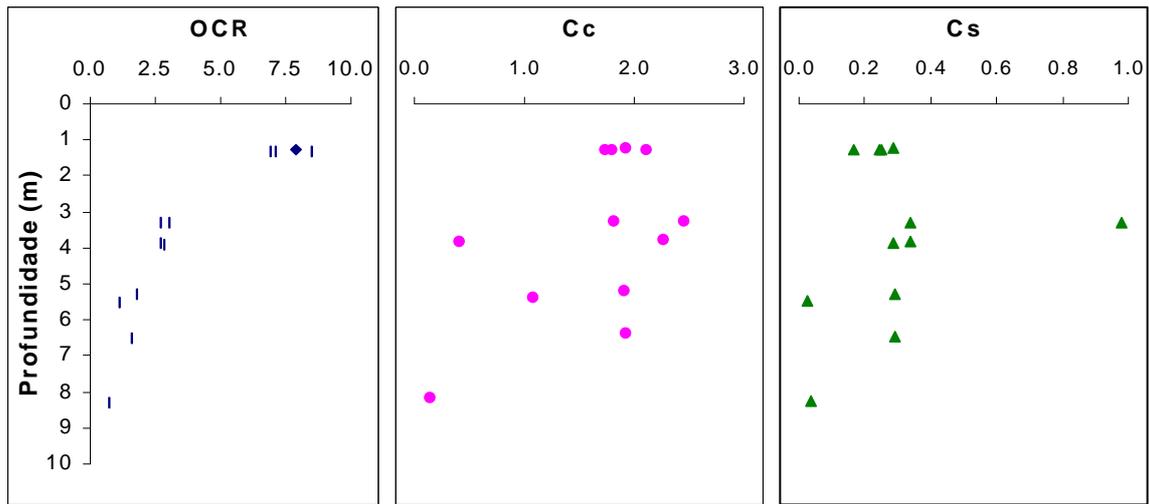
Tabela 21 - Valores de permeabilidade saturada

| <i>Furo de sondagem</i> | <i>Área</i> | <i>Profundidade (m)</i> | <i>k (cm/s)</i> |
|-------------------------|-------------|-------------------------|-----------------------|
| CB-17 | Etileno | 4,20 | $3,10 \times 10^{-8}$ |
| CB-31 | Etileno | 6,30 | $5,60 \times 10^{-8}$ |
| CB-55 | Prédios | 3,40 | $4,50 \times 10^{-7}$ |
| CB-68 | Depósito | 4,40 | $2,79 \times 10^{-7}$ |
| CB-100 | Polietileno | 2,30 | $6,70 \times 10^{-7}$ |

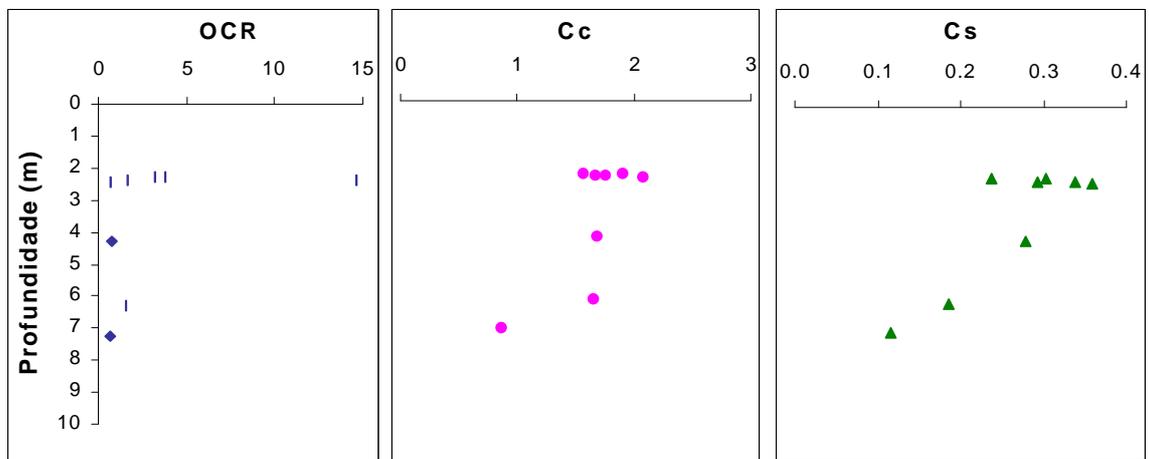
3.4.4 Adensamento

Foram realizados 34 ensaios oedométricos convencionais, em corpos de prova de 67 mm de diâmetro e 25 mm de altura, extraídos da camada de argila mole. Os estágios de carregamento foram: 5, 10, 25, 50, 100 e 200 kPa, correspondendo a uma razão de incremento de carga ($\Delta\sigma_v/\sigma_v$) igual a 1,0. Um ciclo de descarregamento e re-carregamento era realizado sempre ao final do estágio de carregamento de 25 kPa. A Figura 15 mostra os resultados da razão de pré-adensamento (OCR) e índice de compressão (c_c) e índice de recompressão (c_s), obtidos em função da profundidade em diversas subáreas. Os resultados mostram uma redução acentuada do OCR, indicando uma possível presença de uma crosta superficial nos 2 m superficiais em toda a área do empreendimento.

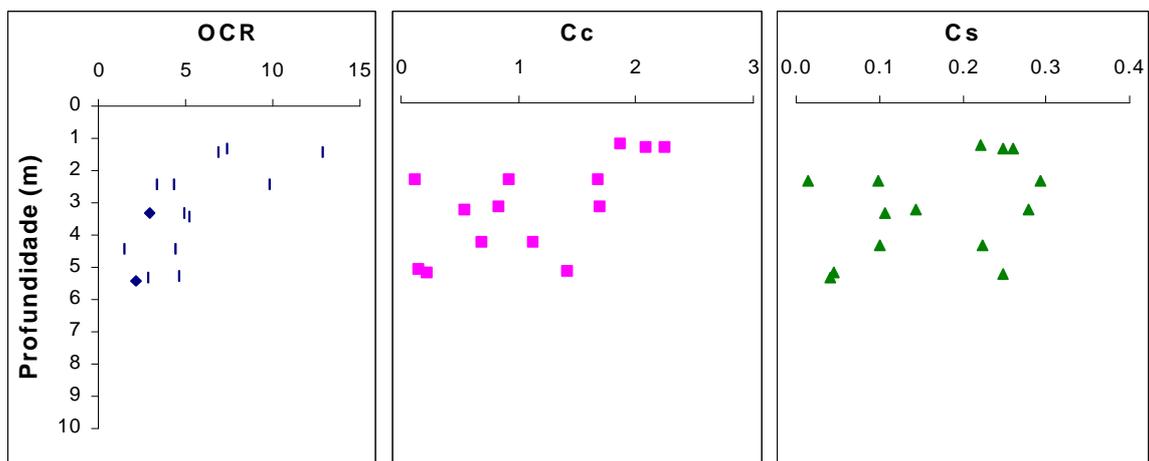
Em todos os ensaios foram calculados os valores do coeficiente de adensamento com base no método de Taylor (Lambe, 1979). A denominação dos ensaios foi realizada de acordo com o furo de sondagem, do qual as amostras foram extraídas. Os resultados estão apresentados nas Figura 16, Figura 17 e Figura 18.



(a) subáreas Tanques e Utilitários.



(b) subáreas Etileno e Polietileno.



(c) subáreas Parqueamento, Depósito e Prédios.

Figura 15- Variação de OCR, c_c e c_s com a profundidade

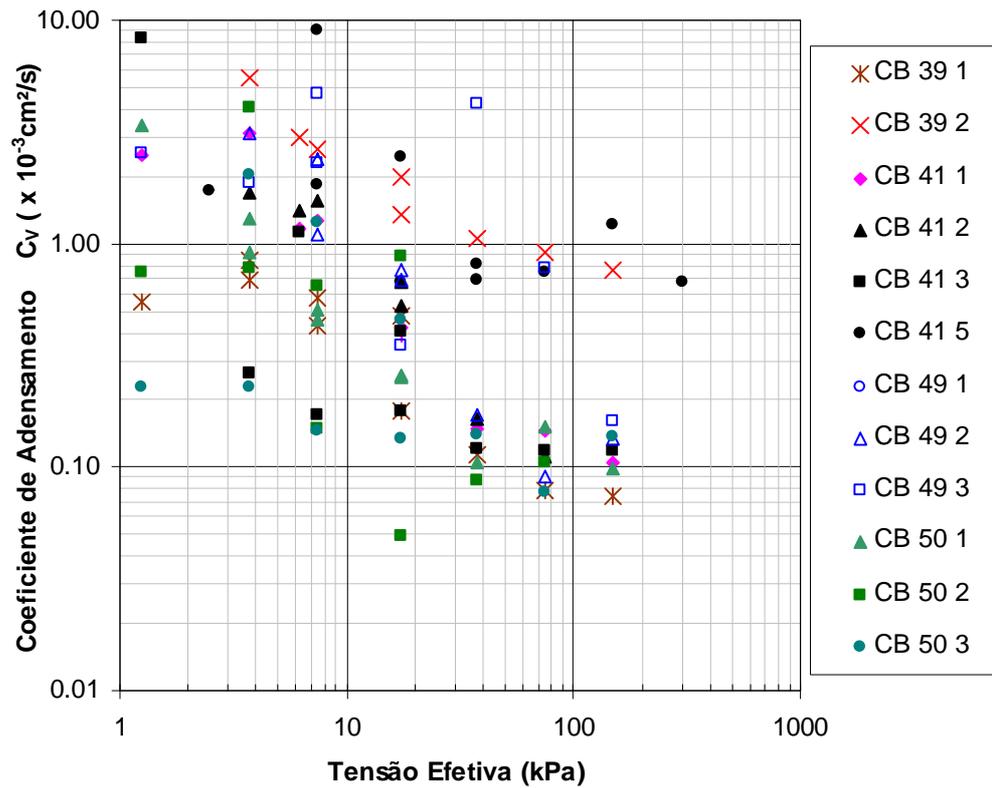


Figura 16 - Valores de C_v - subáreas Tanques e Utilitários

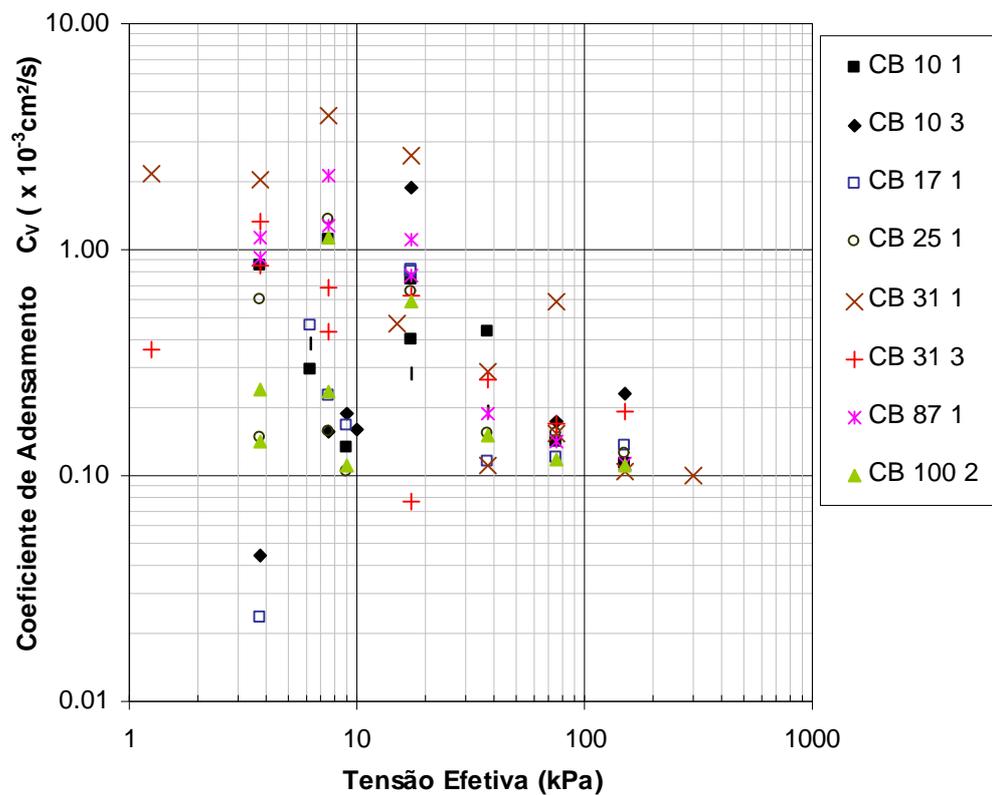


Figura 17 - Valores de C_v - subáreas Etileno e Polietileno

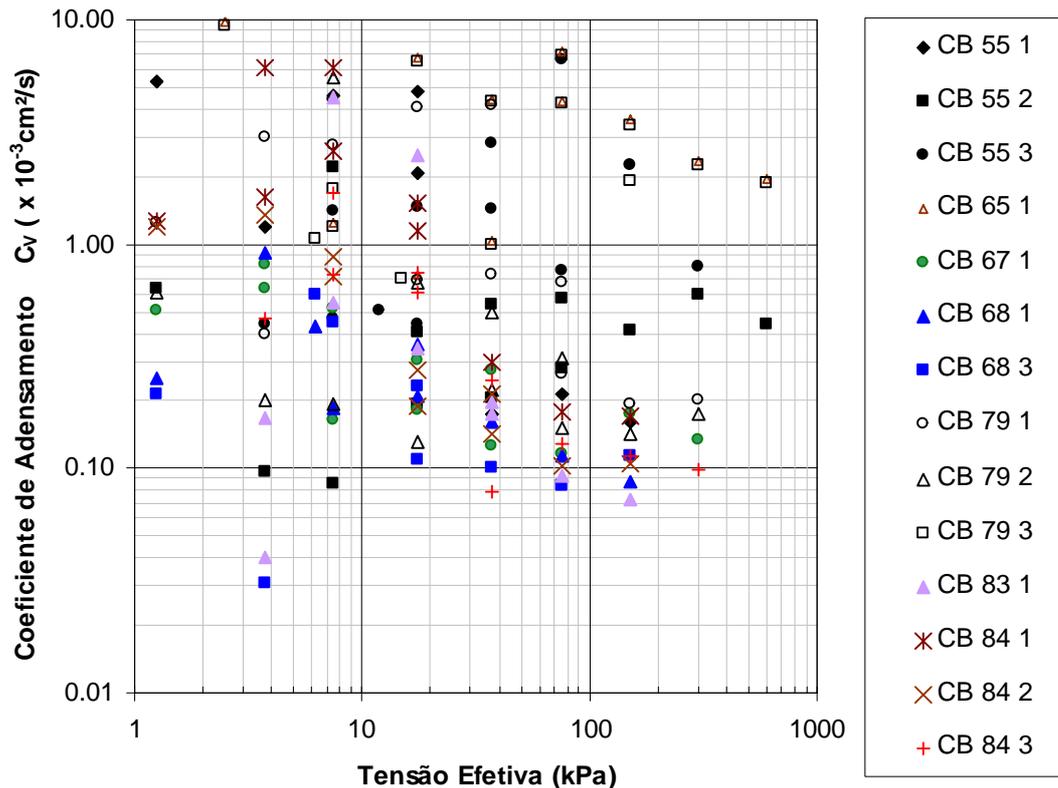


Figura 18 - Valores de C_v – subáreas Parqueamento, Depósito e Prédios

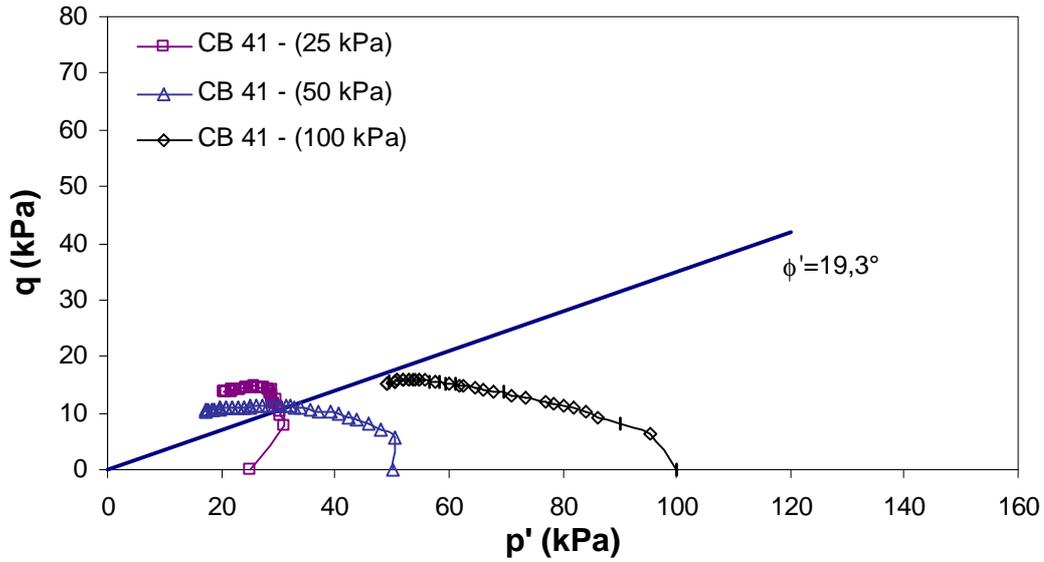
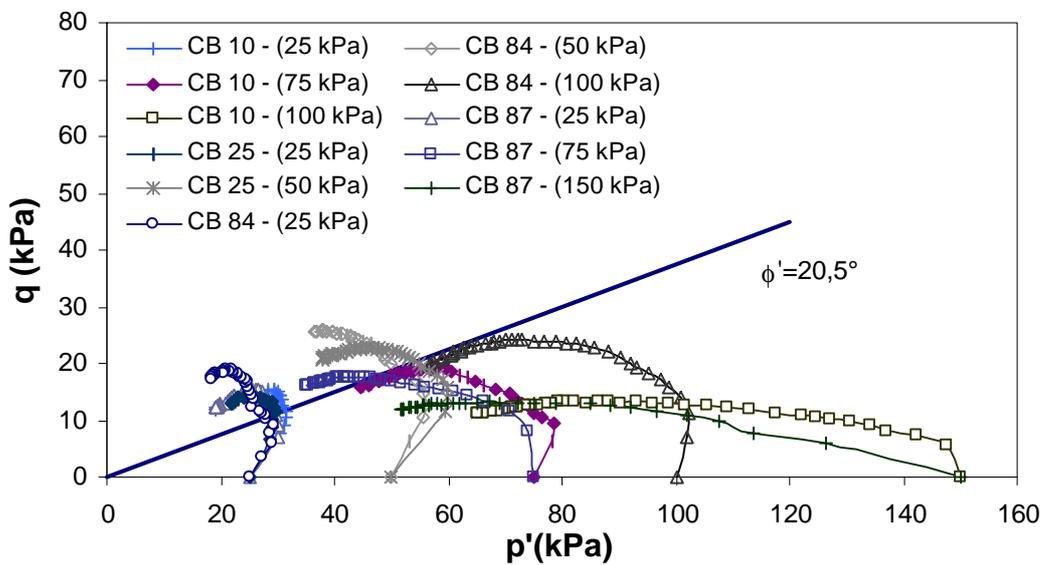
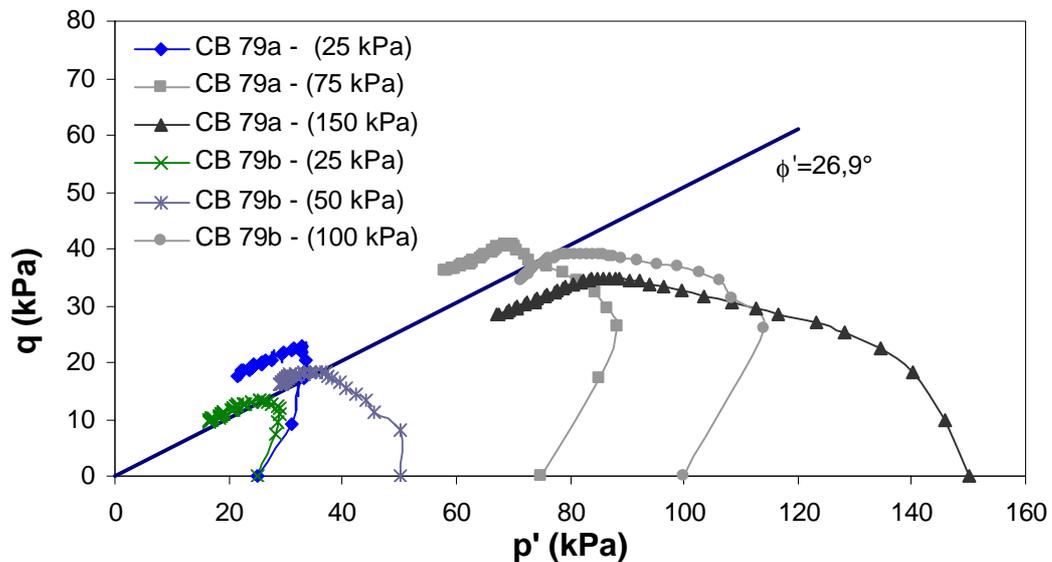
3.4.5 Resistência

Foram realizados 27 ensaios triaxiais consolidados isotropicamente e não-drenados (\overline{CIU}), com medidas de poropressão. Estes ensaios foram executados em corpos de prova de argila mole com diâmetro de 50 mm e altura de 110 mm. As tensões de adensamento variaram de 25 a 150 kPa. Os ensaios foram executados com contrapressão de 100 kPa e o cisalhamento realizado para uma taxa constante de deformação de $1,83 \times 10^{-2}$ mm/min (1% por hora).

As envoltórias de ruptura, assim como as trajetórias de tensão p' x q para as diversas subáreas estão apresentadas nas Figura 19, Figura 20 e Figura 21. Todas as amostras indeformadas foram retiradas da camada de argila mole, nas profundidades de 2 a 6 m. A Tabela 22 apresenta os valores dos parâmetros de resistência.

Tabela 22 - Parâmetros de resistência

| Área | c' | f' | a' | a' |
|----------------------------------|------|--------------|------|--------------|
| Utilitários e Tanques | 0,0 | $19,3^\circ$ | 0,0 | $18,3^\circ$ |
| Etileno e Polietileno | 0,0 | $20,5^\circ$ | 0,0 | $19,3^\circ$ |
| Parqueamento, Prédios e Depósito | 0,0 | $26,9^\circ$ | 0,0 | $24,3^\circ$ |

Figura 19 - Trajetórias $p' \times q$ - subáreas Tanques e UtilitáriosFigura 20 - Trajetórias $p' \times q$ - subáreas Etileno e PolietilenoFigura 21 - Trajetórias $p' \times q$ - subáreas Parqueamento, Depósito e Prédios

Foram também realizados 38 ensaios não-consolidados, não-drenados (UU) em copos de prova de argila mole com diâmetro de 50 mm e altura de 110 mm. Todas as amostras indeformadas foram retiradas da camada de argila mole, nas profundidades de 1 a 7 m.

Os corpos de prova foram cisalhados com tensões confinantes variando de 15 a 100kPa, a uma taxa de deformação axial de cerca de 1,1 mm/min (1% por minuto). Os resultados dos ensaios estão apresentados na forma de diagramas p vs q nas Figura 22, Figura 23 e Figura 24.

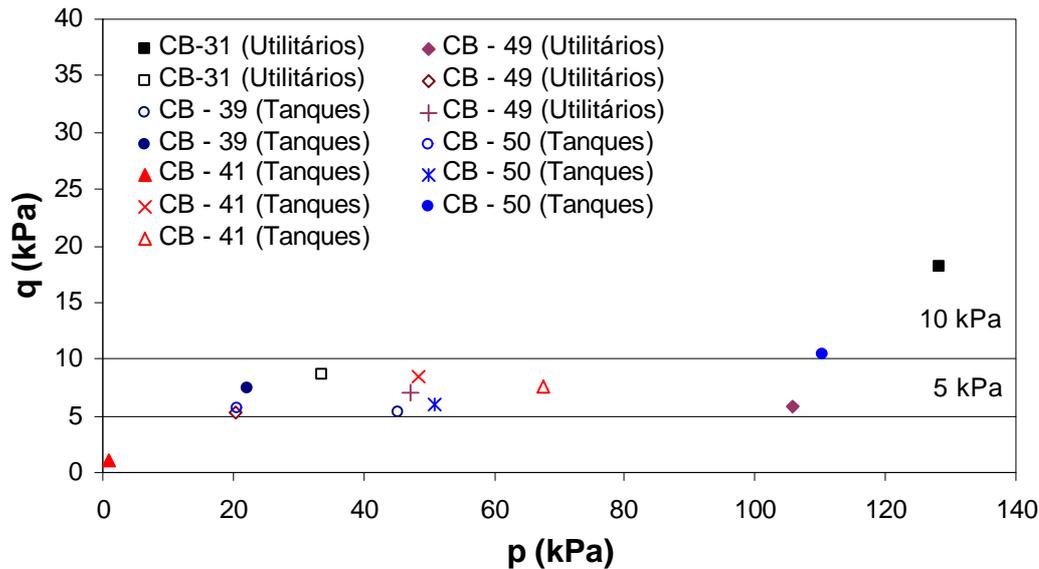


Figura 22 – Estado de tensões na ruptura - subáreas Tanques e Utilitários

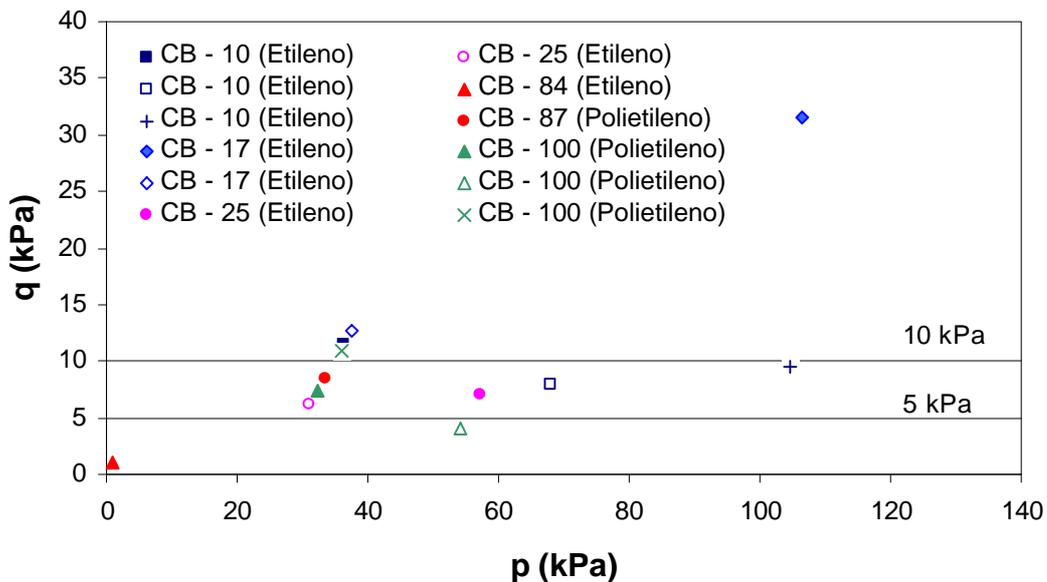


Figura 23 - Estado de tensões na ruptura – subáreas Etileno e Polietileno

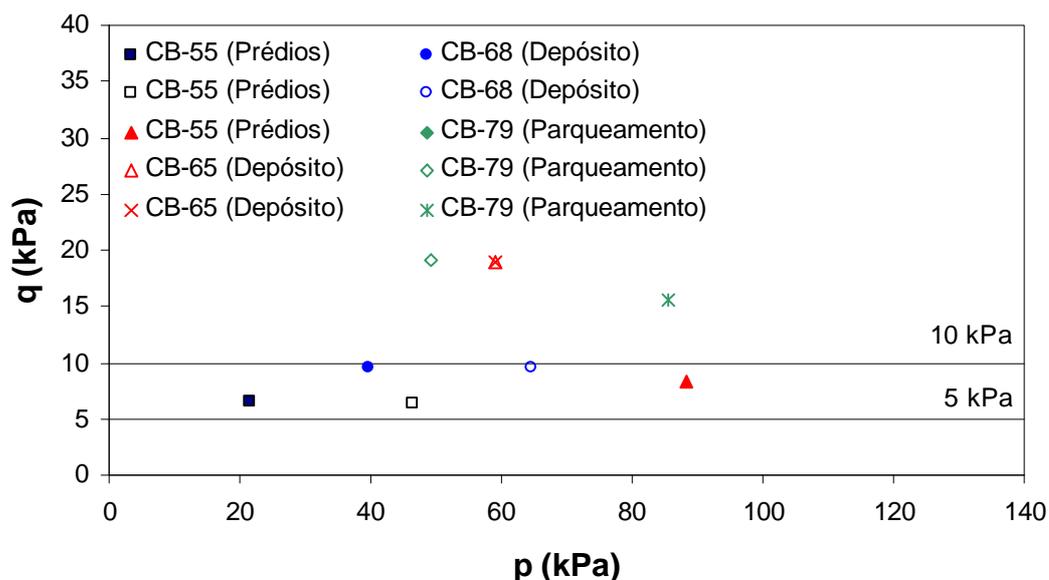


Figura 24 - Estado de tensões na ruptura - Parqueamento, Depósito e Prédios

Os resultados de todos os ensaios triaxiais (UU e CIU) estão apresentados no Anexo 1.

3.5 Ensaio de Campo

Os ensaios de campo foram realizados em duas etapas distintas: primeira etapa (palheta e SPT) em agosto e setembro de 2000 e a segunda etapa (piezocone e permeabilidade in situ) em novembro de 2001.

Neste capítulo serão apresentados apenas os resultados e a localização onde foram realizados os ensaios. Os resultados dos ensaios serão detalhados e analisados no Capítulo 4.

3.5.1 Palheta

Foram realizados 36 ensaios de Palheta nas profundidades de 1,0m a 6,5m. A cada profundidade de ensaio, este era repetido de forma a obter a resistência não-drenada na condição de solo amolgado.

A Figura 26 apresenta o perfil de resistência não drenada (S_u). A sensibilidade da argila, calculada a partir da razão entre as resistências indeformada e amolgada está apresentada na Figura 26.

Os valores de resistência não-drenada (S_u) indeformado apresentaram-se em uma faixa de 2 a 18kPa.

Já para a sensibilidade das argilas, os valores apresentaram-se variando na faixa de 1 a 6 em sua maioria. Estes valores indicam sensibilidade baixa a média para o depósito mole estudado.

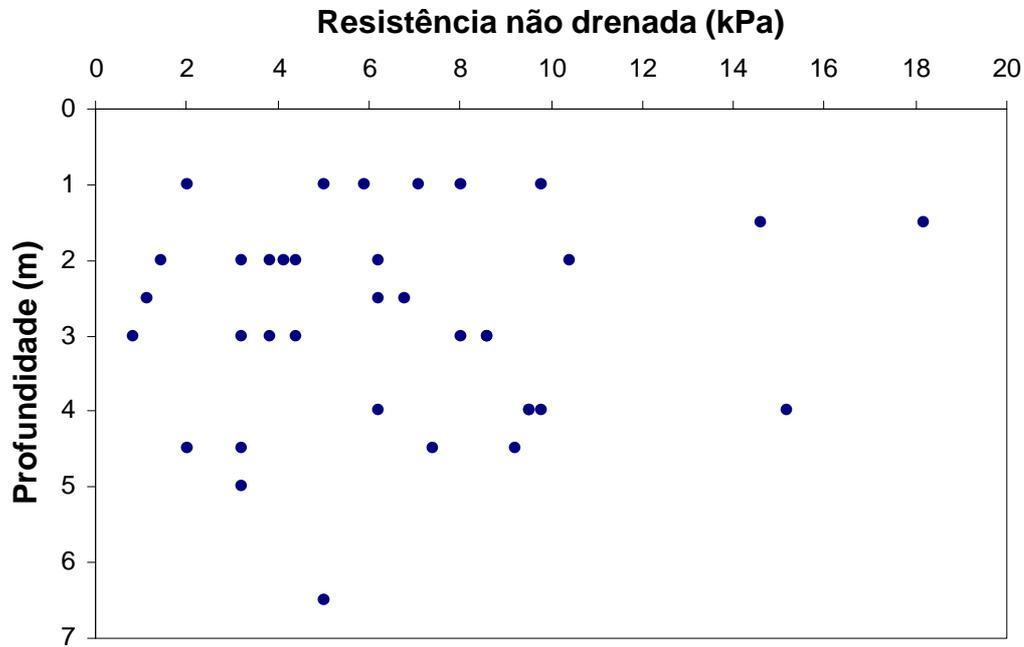


Figura 25 – Ensaio de Palheta – Variações de $(S_u)_{\text{indeformado}}$ com a profundidade

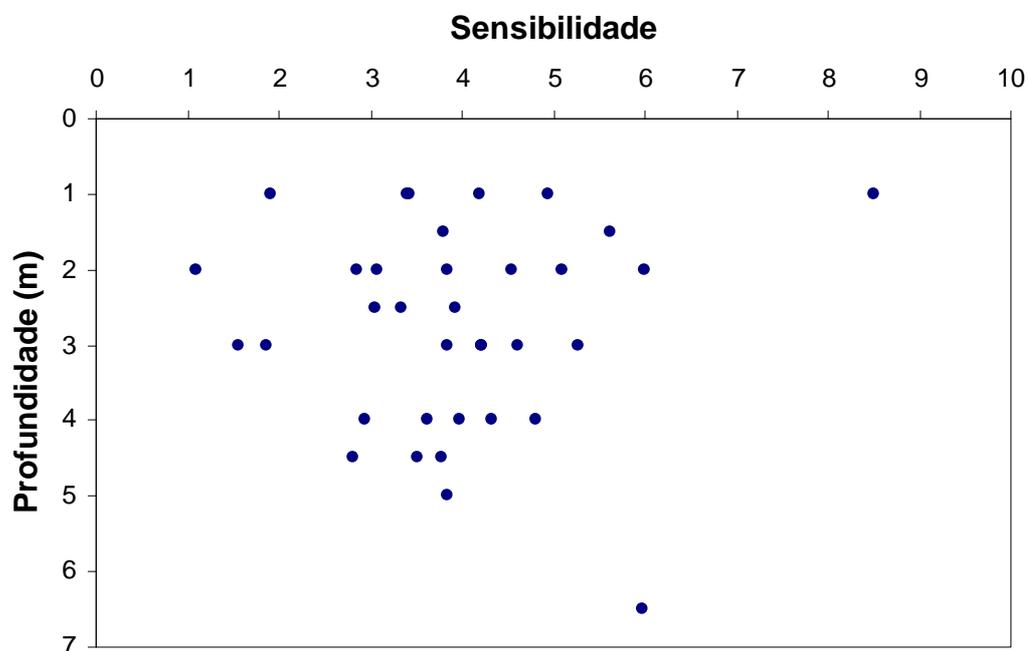


Figura 26 - Sensibilidade da argila

3.5.2 CPTU

Foram realizados 6 ensaios de piezocone, com medidas de poropressão. A Figura 27 apresenta a planta de localização dos ensaios.

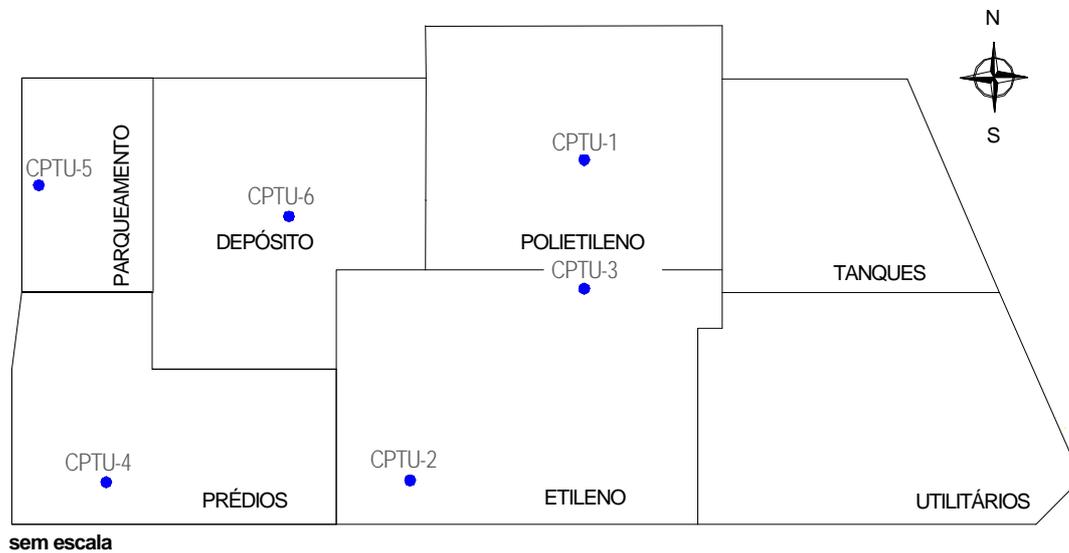


Figura 27 - Localização dos ensaios CPTU

As profundidades máximas dos ensaios estão apresentadas na Tabela 23 a seguir. Os resultados destes ensaios estão apresentados no Anexo 1.

Tabela 23 - Profundidade máxima dos ensaios

| <i>Ensaio</i> | <i>Profundidade (m)</i> |
|---------------|-------------------------|
| CPTU 01 | 15,66 |
| CPTU 02 | 15,58 |
| CPTU 03 | 15,60 |
| CPTU 04 | 11,54 |
| CPTU 05 | 12,56 |
| CPTU 06 | 12,56 |

3.5.3 Permeabilidade in-situ

Foram realizados ensaios de bombeamento em alguns piezômetros tipo Casagrande, instalados na camada drenante. A planta de localização desses piezômetros está apresentada no item seguinte. A Tabela 24 apresenta os

resultados de permeabilidade obtidos nestes ensaios, sendo observados valores na faixa de 1,0 a $3,3 \times 10^{-3}$ cm/s.

Tabela 24 - Valores de permeabilidade in-situ da camada drenante

| <i>Piezômetro</i> | <i>Área</i> | <i>k (cm/s)</i> |
|-------------------|-------------|----------------------|
| CP - 01 | Etileno | $3,1 \times 10^{-3}$ |
| CP - 03 | Etileno | $2,6 \times 10^{-3}$ |
| CP - 05 | Utilitários | $1,1 \times 10^{-3}$ |
| CP - 10 | Etileno | $1,1 \times 10^{-3}$ |
| CP - 11 | Etileno | $1,1 \times 10^{-3}$ |
| CP - 12 | Etileno | $1,1 \times 10^{-3}$ |
| CP - 13 | Etileno | $1,1 \times 10^{-3}$ |
| CP - 14 | Etileno | $3,3 \times 10^{-3}$ |
| CP - 15 | Etileno | $3,3 \times 10^{-3}$ |
| CP - 16 | Polietileno | $2,6 \times 10^{-3}$ |
| CP - 17 | Polietileno | $2,6 \times 10^{-3}$ |
| CP - 18 | Polietileno | $3,1 \times 10^{-3}$ |
| CP - 19 | Polietileno | $3,1 \times 10^{-3}$ |

3.6 Instrumentação de campo

A instrumentação de campo consistiu na instalação de piezômetros, inclinômetros e placas de recalque.

Estes instrumentos foram instalados em diferentes fases da obra. A primeira campanha restringiu-se às áreas Etileno, Polietileno Utilitários e Tanques, nas quais o aterro já tinha alcançado sua cota final. Após a execução dos demais aterros, nas áreas Depósito, Prédios e Parqueamento, novos instrumentos foram instalados.

3.6.1 Piezômetros

Foram instalados 36 piezômetros tipo Casagrande e 40 de Corda Vibrante. As plantas de localização dos piezômetros estão apresentadas a seguir, com a Figura 28 apresentando a localização dos piezômetros Casagrande e a Figura 29 a localização dos piezômetros de corda vibrante.

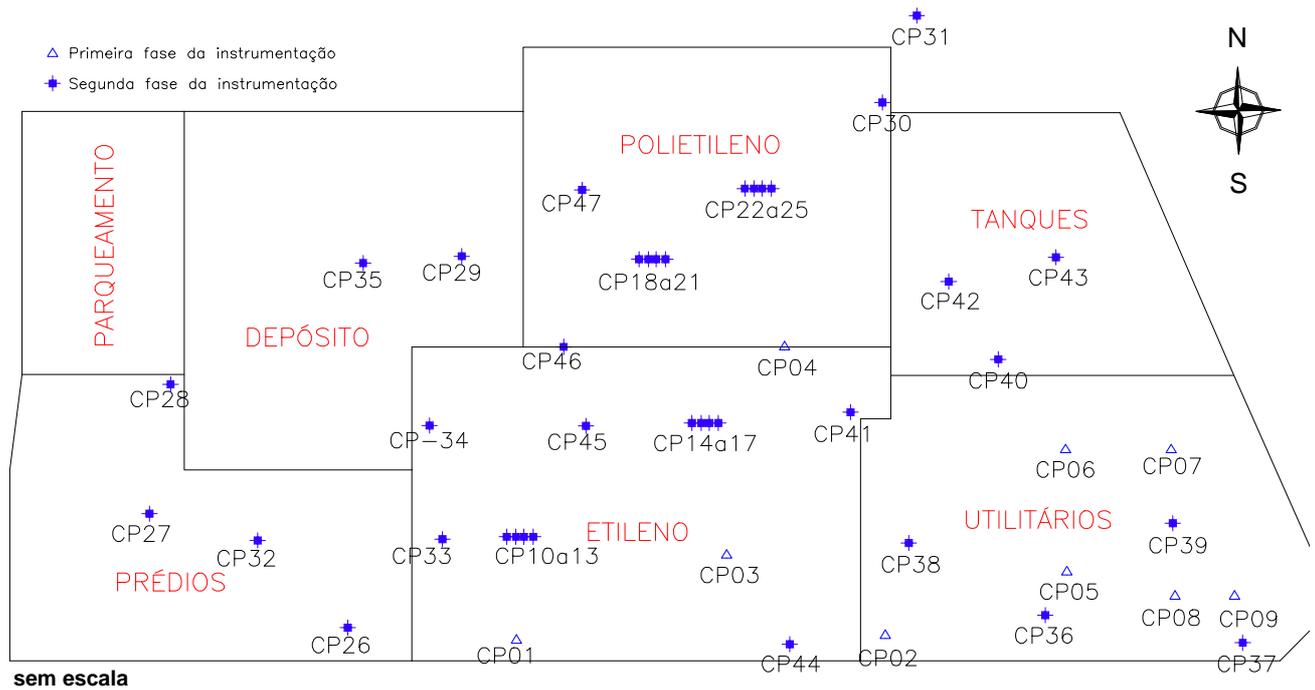


Figura 28 - Planta de localização dos piezômetros tipo Casagrande

Os piezômetros Casagrande (CP) foram assentados acima do geotêxtil, na interface entre argila mole e a camada de areia ou (colchão drenante). Os piezômetros foram executados com comprimento de bulbo variando de 0,6 a 0,8 m em função das diferentes espessuras do colchão drenante.

Os piezômetros de Corda Vibrante (VWP) foram instalados na camada de argila mole a diferentes profundidades. A Figura 30 e Figura 31 mostram as leituras dos piezômetros CP -01 e VWP-01 ao longo do tempo. As leituras para os demais piezômetros estão apresentados no Anexo 1.

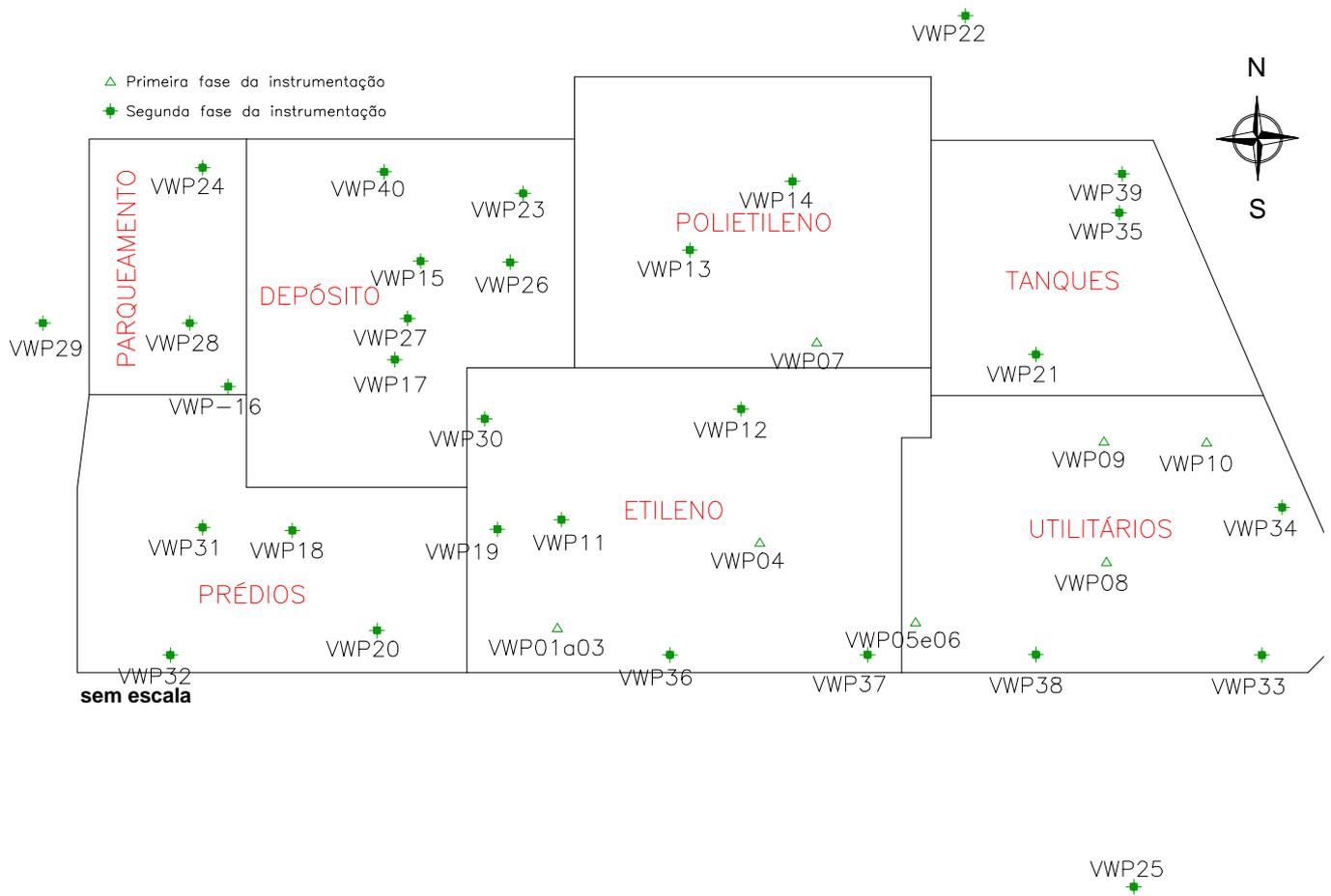


Figura 29 - Planta de localização dos piezômetros tipo Corda Vibrante

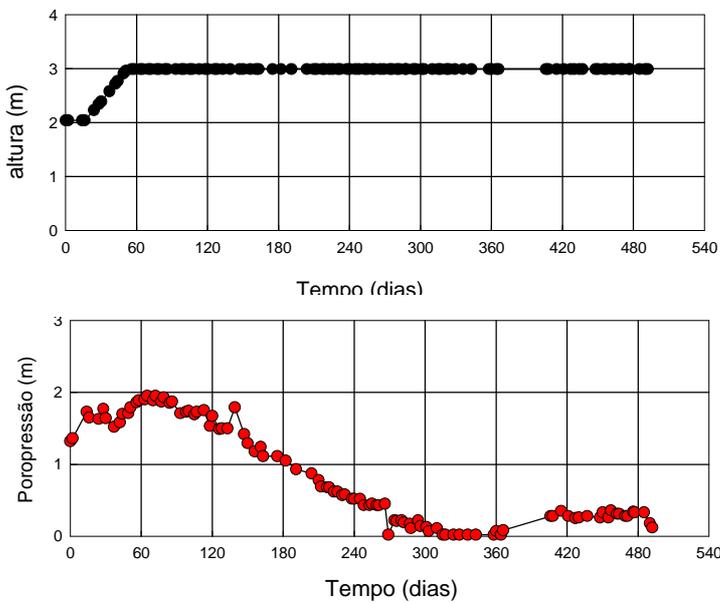


Figura 30 - Excesso de poropressão no piezômetro CP-01 com o alteamento do aterro

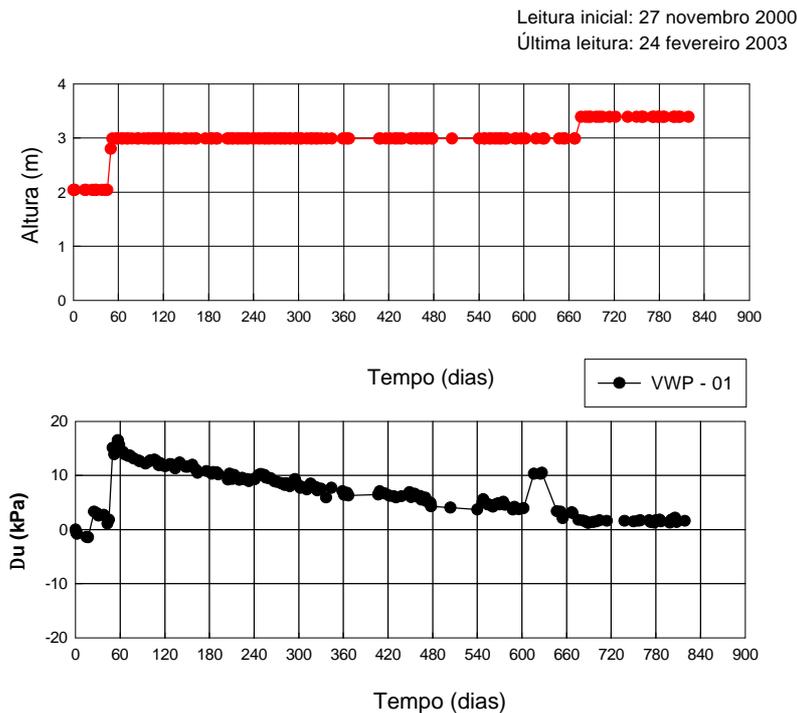


Figura 31 - Excesso de poropressão no piezômetro VWP-01 com o alteamento de aterro

Alguns instrumentos apresentaram funcionamento inadequado, atribuído a possíveis danos causados pelos serviços de terraplenagem. Dos instrumentos instalados, alguns dos piezômetros de Casagrande (CP-01, CP-02, CP-03, CP-04, CP-08 e CP-46) se encontram quebrados e/ou obstruídos. Dos piezômetros de Corda Vibrante, estão obstruídos ou sem acesso para o cabo de leitura, os instrumentos de números VWP-06, VWP-36 e VWP-37. Os demais piezômetros ainda se encontram em condições de leitura e estão sendo utilizados para monitoramento do aterro.

3.6.2 Inclinômetros

Foi instalado um total de 10 inclinômetros, cujo posicionamento em planta está apresentado na Figura 32. A Figura 33 mostra fotos da instalação de inclinômetro I-10.

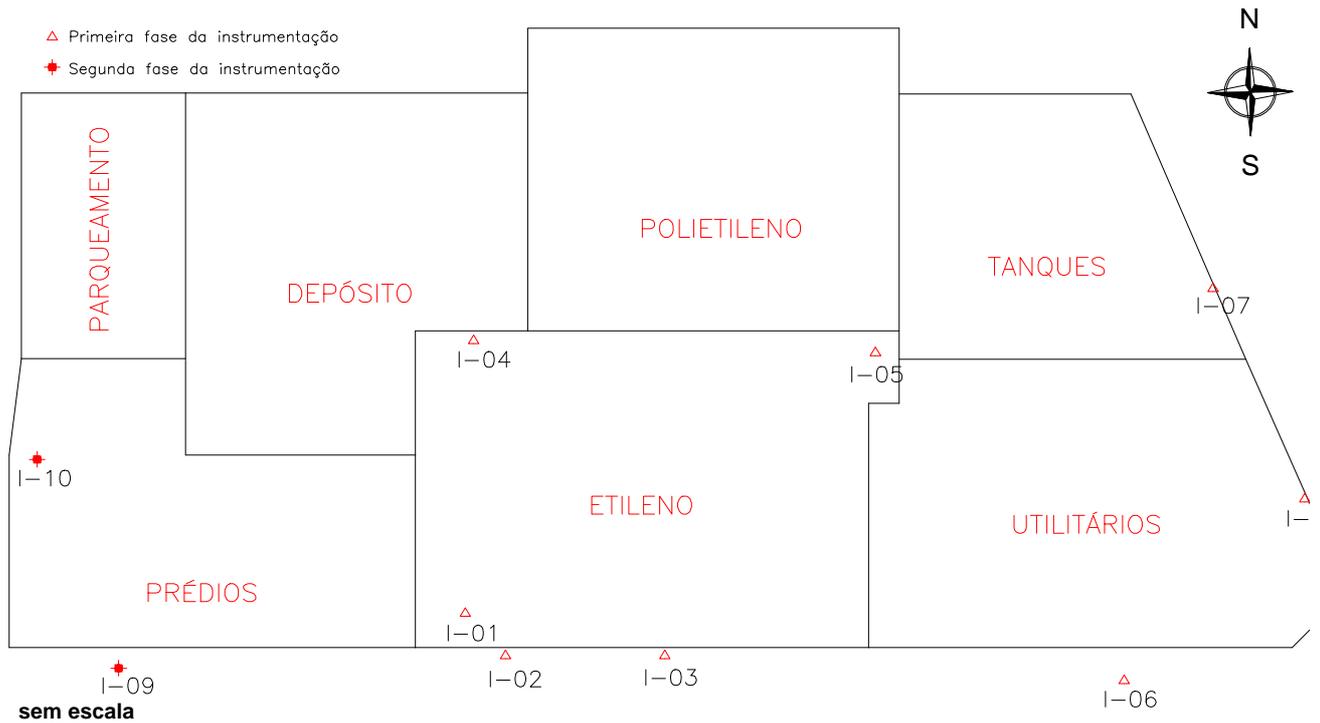


Figura 32 - Planta de localização dos inclinômetros

Os 8 primeiros inclinômetros foram instalados nas áreas Tanques, Utilitários, Etileno e Polietileno coincidindo com a primeira etapa de instrumentação da obra. Durante a construção dos demais aterros estes inclinômetros foram danificados. Atualmente apenas os inclinômetros I-08, I-09 e I-10 estão sendo observados.

A Figura 34 apresenta um resultado típico de leitura de deslocamento horizontal de um dos inclinômetros (I-10), ainda em operação. Este inclinômetro está localizado na área C (Prédios), e foi instalado no dia 23/07/02. O conjunto de leituras foi feito durante a etapa de alteamento do aterro, referente à segunda etapa. A instalação dos inclinômetros é realizada na saia do aterro, de forma a definir a região com maiores valores de deslocamento horizontal.

O inclinômetro em questão apresenta valores de leituras negativas devido à sua localização. O inclinômetro foi instalado ao lado de uma via de acesso dos caminhões ao aterro, o que acarretou em valores de deslocamentos no sentido contrário ao previsto para a construção do aterro.



(a) Instalação do tubo



(b) Detalhe do torpedo.

Figura 33 - Instalação do I – 10

Inclinômetro I-10

Leitura inicial em 23/07/2002.

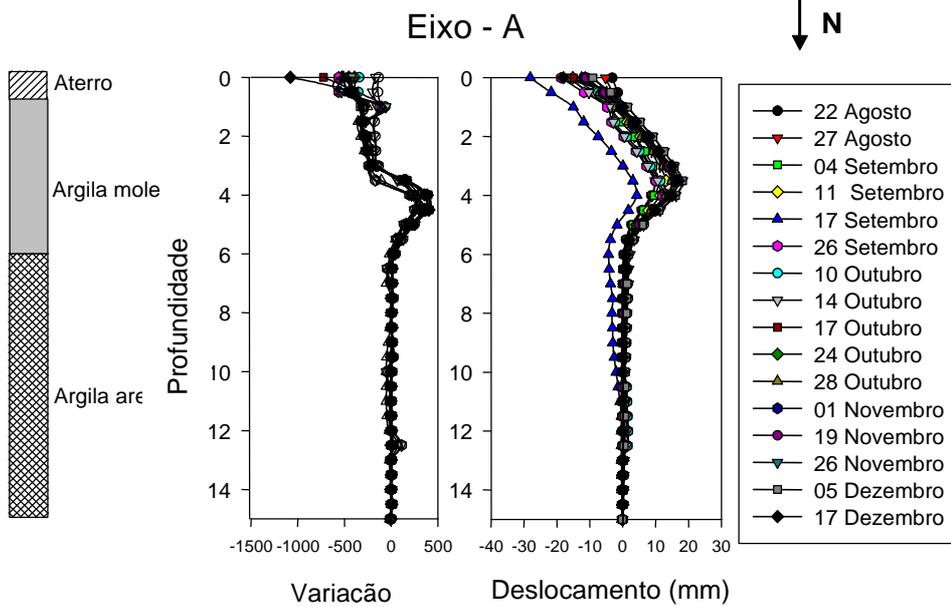
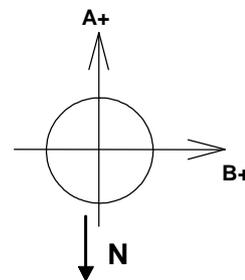


Figura 34 - Leituras do inclinômetro I-10

3.6.3 Placas de recalque

Com o objetivo de monitorar os deslocamentos verticais que são gerados durante o alteamento do aterro, foram instaladas 32 placas de recalque.

Um resultado típico dos deslocamentos verticais do aterro está apresentado na Figura 35. A seguir apresenta-se, na Figura 36, a planta de localização das placas de recalque.

Assim como para os demais instrumentos apresentados anteriormente, as leituras das placas de recalque instaladas no aterro da indústria Rio Polímeros estão apresentados no Anexo 1.

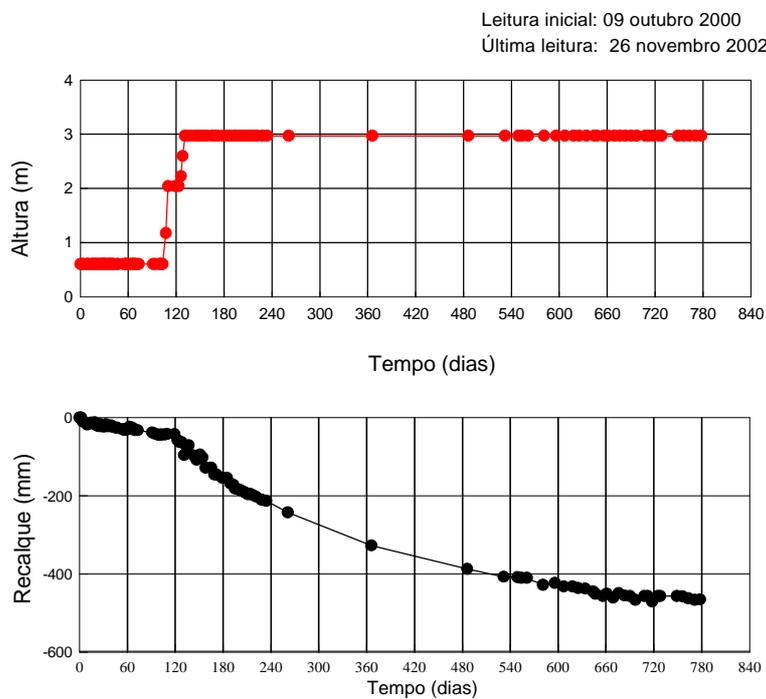


Figura 35 - Deslocamento vertical com o alteamento do aterro no tempo

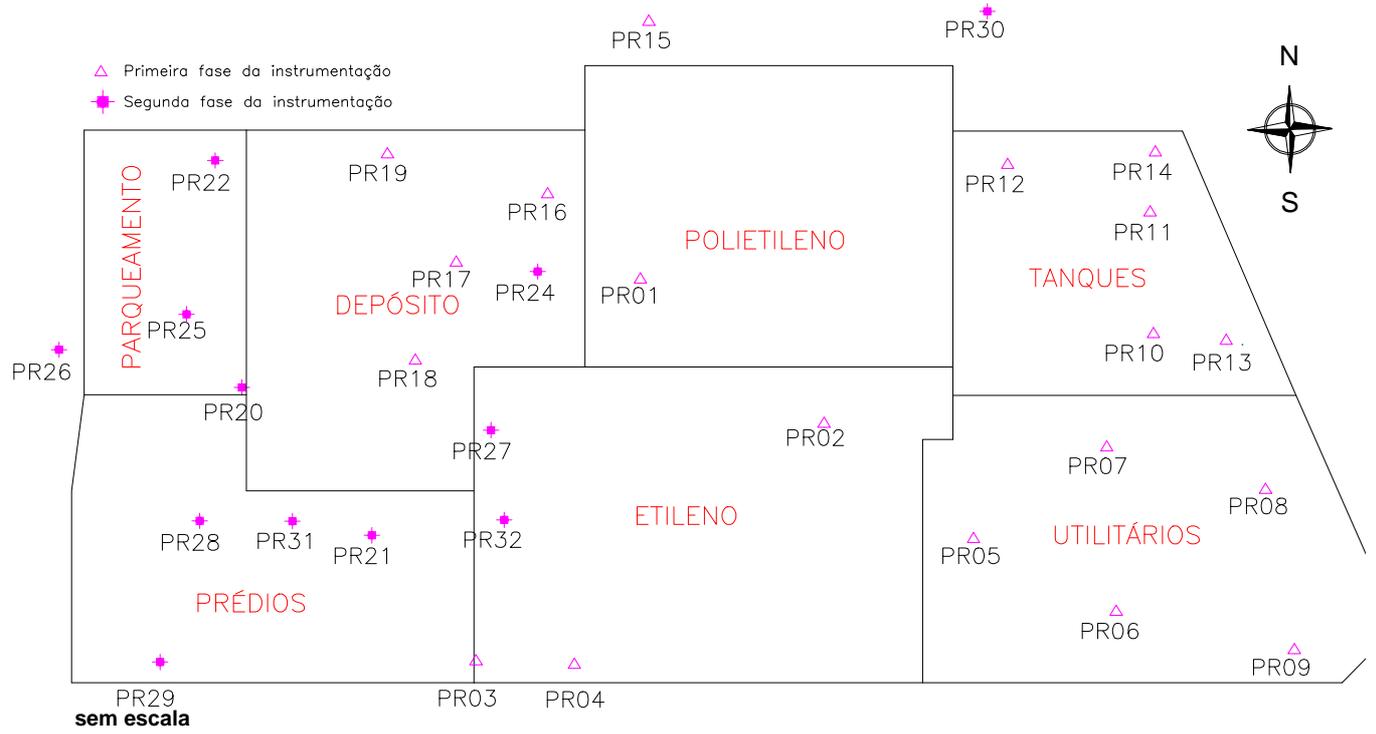


Figura 36 - Planta de localização das placas de recalque