

5.

Ensaio de laboratório

5.1

Considerações iniciais

Com o intuito de melhor entender o comportamento dos solos presentes no terreno em estudo, foi conduzida uma campanha de ensaios de laboratório nas amostras indeformadas coletadas, conforme descrito no capítulo anterior. O presente capítulo tem por objetivo descrever brevemente algumas particularidades dos ensaios e apresentar os resultados e parâmetros geotécnicos obtidos. O programa de ensaios contemplou a caracterização completa do material (granulometria por sedimentação, limites de Atterberg, massa específica do grão e teor de matéria orgânica), mineralogia (difração de raios-X), caracterização química da água do terreno e ensaios de adensamento oedométrico de longa duração.

Os ensaios de caracterização completa e os ensaios de adensamento foram executados no Laboratório de Geotecnia da COPPE/UFRJ, os ensaios de caracterização química da água foram realizados no Laboratório de Caracterização de Águas, do Departamento de Química da PUC-Rio e os ensaios difração de raios-X no Laboratório de Metalurgia, do Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio.

5.2

Ensaio de caracterização

Para os presentes ensaios foi utilizado o solo contido nos 10 cm inferiores dos tubos Shelby, já que este trecho sofre perturbação durante a rotação imposta ao amostrador para o cisalhamento da base da amostra. O corte do tubo era feito quando da moldagem dos corpos de prova para o ensaio de adensamento. A porção inferior do tubo contendo o solo era, então, armazenada dentro de saco plástico grosso lacrado, sendo mantida em câmara úmida até o momento do início dos ensaios de caracterização, que invariavelmente se iniciava após poucos dias.

Para os ensaios de caracterização, o material era retirado de dentro do tubo Shelby cortado e passado integralmente na peneira #10 (2,0 mm), utilizando espátula e as mãos. Parte desse material peneirado era utilizado para os ensaios de sedimentação e determinação da massa específica do grão. Outra parte era passada na peneira #40 (0,42 mm) para ser usada para os ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade, que foram realizados sem secagem prévia do solo. No mais, foram seguidos os procedimentos recomendados na ABNT NBR 6457, que versa sobre a preparação de amostras de solo para ensaios e caracterização.

O material retido na peneira #10 era constituído exclusivamente por fragmentos de conchas, conforme pode ser observado na figura 5.1 Por esse motivo decidiu-se não realizar o ensaio de granulometria por peneiramento.

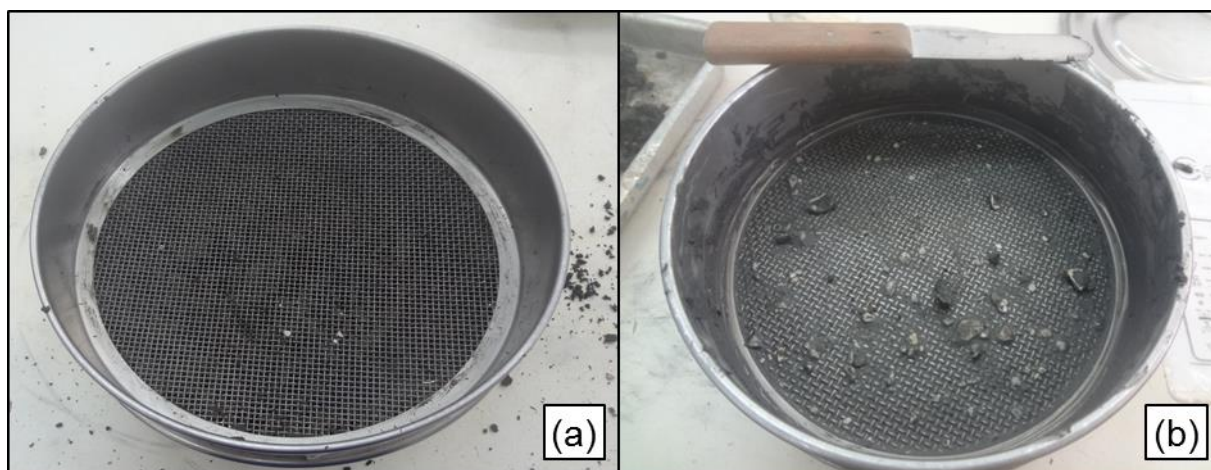


Figura 5.1 – Material retido na peneira #10

5.2.1

Granulometria por sedimentação

A teoria que embasa a validade do procedimento para se calcular o diâmetro das partículas constituintes da fração fina do solo – passantes na peneira #200 (0,075 mm) – exige um refinamento matemático que foge ao escopo do presente trabalho. Tal desenvolvimento teórico está detalhadamente descrito em Lima e Vieira (1998) e em Head (2006). Os ensaios de sedimentação realizados neste programa seguiram as recomendações previstas na ABNT NBR 7181 (1984).

É digna de nota uma situação ocorrida durante a execução do ensaio na amostra turfosa da camada superior de solo. O ensaio foi preparado seguindo os

procedimentos da NBR citada, tomando 70 gramas de material passante na peneira #10 (2,0 mm) e deixando o mesmo repousar em um bécher com solução de hexametáfosfato de sódio por 12 horas. Em seguida, a mistura foi levada ao aparelho dispersor por 15 minutos e então vertida em uma proveta graduada de 1000 ml. Procedida a agitação por 60 segundos da proveta, a mesma foi colocada em posição vertical dentro do tanque com água (para manter a temperatura) e o densímetro (já devidamente calibrado) foi inserido para serem iniciadas as leituras nos tempos padronizados.

Quando da primeira inserção do densímetro na proveta observou-se que a mistura era bastante viscosa e aderida ao vidro do densímetro, que, impossibilitado de ser lavado com água destilada para não alterar o volume de solução na proveta, acarretou uma perda significativa de material. Com isso, o ensaio não pode prosseguir. Por curiosidade, o densímetro foi lavado e inserido na proveta alguns minutos depois. O que se observou foi que o mesmo não estava afundando na mistura, e sim subindo. Este teste foi repetido várias vezes e o densímetro continuou subindo, cada vez menos, mas ainda subindo. Essa situação indicava que a mistura parecia estar ganhando resistência com o tempo, apresentando tixotropia.

Deixou-se essa proveta com o material em seu interior repousando por 24 horas, e o que se observou após esse período é que a mistura de solo havia se tornado um gel, que tornava necessário empurrar o densímetro para baixo para que o mesmo pudesse ser inserido. Após essa inserção, parecia haver certo equilíbrio indiferente, já que o mesmo não descia nem subia dependendo da profundidade em que era colocado o bulbo.

Como estudar esse comportamento não era o fito do trabalho, decidiu-se então empregar uma quantidade menor de solo para tentar verificar se isso se devia à quantidade excessiva de solo no interior da proveta. Utilizou-se então 35 gramas de solo ao invés das 70 gramas recomendadas pela NBR 7181.

Para o solo da camada argilosa inferior tal comportamento não foi observado, e o ensaio pôde ser conduzido sem revezes.

Os resultados obtidos são apresentados na tabela 5.1 e na figura 5.2.

5.2.2

Limites de Atterberg

O termo Limites de Atterberg se refere aos ensaios de limite de liquidez, limite de plasticidade e limite de contração. No presente trabalho foram determinados apenas os dois primeiros.

De acordo com Ladd e DeGroot (2003), amostras de solos coesivos devem ter seus limites de Atterberg determinados em sua umidade natural, já que a secagem do solo pode causar reduções significativas na plasticidade. Por esse motivo, todos os ensaios deste item foram feitos sem secagem prévia.

5.2.2.1

Limite de liquidez

O ensaio seguiu as recomendações da ABNT NBR 6459 (1984). Antes do ensaio, o aparelho de Casagrande foi calibrado, tanto na frequência de golpes quanto na altura de queda da concha, e verificado quanto a seu estado de conservação, tendo-se constatado que o mesmo não apresentava desgaste apreciável, sobretudo no ponto de contato da concha metálica com a base de ebonite.

Os resultados são apresentados na tabela 5.1 e na figura 5.2.

5.2.2.2

Limite de plasticidade

O ensaio seguiu as recomendações da ABNT NBR 7180 (1984). Após a passagem do solo na peneira #40 (0,42mm), era feito um teste para verificar se já era possível executar o ensaio de imediato, situação que não ocorreu em nenhuma ocasião. Uma pequena porção de solo era, então, colocada em uma cápsula e protegida dentro de um saco plástico, sendo levada à câmara úmida até o dia seguinte, quando era feita nova tentativa para realização do ensaio. Caso a umidade já houvesse baixado o suficiente, era procedido o ensaio.

Uma fonte de erros comum neste ensaio deve-se à inexatidão na determinação do teor de umidade, pois a quantidade de material empregada é pequena e a cápsula usada não pode ser muito pesada. Para evitar esse tipo de erro, foram empregadas cápsulas tão leves quanto possível, com massa da ordem de 5,0 gramas.

Os resultados são apresentados na tabela 5.1 e na figura 5.2, juntamente com os índices de plasticidade calculados, sendo estes parâmetros dados pela diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade.

5.2.3

Massa específica dos grãos de solo

O ensaio é padronizado pelas normas ABNT NBR 6508 (1004), DNER-ME 093 (1004) e ASTM D854 (2010). As três normas divergem quanto ao procedimento de ensaio e quanto às quantidades a serem ensaiadas, o que influencia qual o volume do picnômetro a ser usado. Em todas está previsto que o material a ser ensaiado seja passado antes na peneira #4 (4,8 mm), porém, conforme explicado anteriormente, todo o solo passava pela peneira #10 (2,0 mm), à excessão de alguns fragmentos de conchas. Como ensaiar o solo contendo esses fragmentos não resultaria em um valor de densidade dos grãos representativo da massa de solo presente no terreno, o ensaio foi executado com o material passante na peneira #10 (2,0 mm).

Quanto ao procedimento de execução do ensaio, a maior divergência se deve ao método a ser usado para a remoção do ar aderente às partículas de solo. A norma DNER não prevê que o material a ser colocado no picnômetro seja passado antes pelo aparelho dispersor, situação que é prevista nas normas ABNT e ASTM. A norma DNER indica que a remoção do ar aderente seja feita por aquecimento com fervura do picnômetro contendo a solução de solo e água destilada por um período de 15 minutos. Já a norma ABNT prevê que essa remoção deve ser feita com aplicação de vácuo em duas etapas de 15 minutos, a primeira com o picnômetro semi-cheio e a segunda com o mesmo quase cheio. A norma ASTM prevê tanto o uso de vácuo quanto o de aquecimento, aplicados em uma única

etapa com o picnômetro completado entre metade e um terço de seu volume. Entretanto, o intervalo de tempo previsto por essa norma é de duas horas de aplicação de vácuo ou aquecimento, sendo indicado que, caso sejam usados os dois métodos simultaneamente (vácuo e aquecimento em banho-maria), o tempo pode ser reduzido para uma hora de aplicação.

A remoção incompleta do ar dos vazios conduz à determinação de valores mais baixos de massa específica do grão.

A norma ASTM prevê, ainda, que o ensaio pode ser executado tanto com o material úmido quanto com o material seco em estufa, sendo recomendado método por via úmida quando o solo é orgânico, altamente plástico ou tropical. A norma ABNT também prevê ensaio tanto por via úmida quanto por via seca, porém não fornece detalhes quanto ao método a ser usado de acordo com o tipo de solo. A norma DNER só prevê o ensaio via seca.

Tendo em vista essa dissensão, decidiu-se seguir os procedimentos recomendados pela norma ASTM D854 e ensaiar o solo por via úmida, já que o mesmo indicava ser orgânico e altamente plástico. O método usado para a remoção do ar aderente aos grãos foi o aquecimento, aplicado por período de duas horas.

O autor desconhece estudos que tenham sido feitos comparando os valores obtidos por cada um dos procedimentos recomendados pelas normas citadas, e acredita que este resultado seja de grande valia para o meio geotécnico. Entretanto, não se pôde conduzir tal experimento tendo em vista a quantidade reduzida de amostras disponíveis para a presente campanha de ensaios.

Os valores obtidos são apresentados na tabela 5.1 e na figura 5.2.

5.2.4

Teor de matéria orgânica

O ensaio é normatizado pela ABNT NBR 13600 (1996) e pela ASTM D2974 (2007). Existe uma discussão no meio geotécnico sobre o melhor método para se determinar o teor de matéria orgânica de um solo, se através da perda por

ignição, como é o caso das normas citadas acima, ou se pela oxidação do carbono orgânico através de reagentes químicos, sendo o procedimento descrito pelo manual de Métodos de Análise de Solos da Embrapa (Embrapa, 1997). Outra discussão reside no fato da temperatura ideal para esse ensaio e o tempo de permanência da amostra em mufla, tendo em vista evitar a perda da água de constituição dos minerais argílicos e, com isso, mascarar o real valor do teor de matéria orgânica.

O autor preferiu não enveredar por essa discussão e empregar o método sugerido pelas normas ABNT e ASTM citadas anteriormente, que concordam com a temperatura de 440 °C, mas divergem sobre o tempo de permanência da amostra em mufla, já que a ABNT recomenda 12 horas e a ASTM recomenda que seja usado o tempo necessário para a constância de peso. Para os presentes ensaios, foi adotada a temperatura de 440 °C e o tempo de 12 horas.

Interessante comparação entre resultados, variando o método empregado e o tempo de permanência em mufla, foi feita por Carvalho (1980) e Campos (2006).

Os resultados são apresentados na tabela 5.1 e na figura 5.2.

5.3

Ensaio de adensamento

5.3.1

Laboratório e equipamentos utilizados

Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Reologia dos Solos, localizado nas instalações do Laboratório de Geotecnia da COPPE/UFRJ. Trata-se de uma sala especialmente construída para minimizar as trocas de calor com o meio externo, sendo revestida com isopor e madeira. O objetivo é que os ensaios possam ser conduzidos à temperatura controlada, aspecto de extrema importância em ensaios de longa duração como os do presente trabalho. Dentro da sala existem três aparelhos de ar condicionado que funcionam em sistema de rodízio de 24 horas, sendo que com um dos aparelhos ligado a temperatura é mantida entre 17,6 °C e 18,9 °C. O laboratório está dotado, ainda, de um sistema de 72

lâmpadas incandescentes instaladas no teto em formato de matriz 12 x 6, o que permite a execução de ensaios sob temperatura elevada.

Para os ensaios deste trabalho foram usadas quatro prensas do tipo Bishop com relação de braço de 1:10 equipadas com extensômetros analógicos com resolução de 0,01 mm por divisão.

Os corpos de prova foram moldados em anéis de aço inoxidável com dimensões aproximadas de 20 mm de altura e 71 mm de diâmetro, com área da seção transversal de 40 cm².

Tabela 5.1 – Resumo dos parâmetros de caracterização

Amostra	Profundidade de coleta (m)	ω (%)	ω_{med} (%)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_{nat} médio (kN/m ³)	G	e_0	TMO (%)	Limites de Atterberg			Granulometria		
									LL (%)	LP (%)	IP (%)	% areia	% silte	% argila
TE 1	3,60 a 4,20	229,7%	246%	11,44	10,94	2,084	5,14	38,9%	392%	161%	231%	35	35	30
		263,2%		10,43										
TE 2	4,40 a 5,00	132,2%	122%	13,55	13,74	2,577	3,16	6,8%	159%	51,24%	107,8%	57	27	16
		113,6%		13,73										
		126,6%		13,70										
		117,4%		13,97										
TE 3	3,40 a 4,00	262,0%	277%	11,36	11,26	1,974	5,48	30,3%	619%	261%	358%	33	22	45
		294,4%		11,20										
		276,1%		11,21										
TE 4	4,20 a 4,80	121,3%	121%	13,66	13,57	2,491	3,02	6,3%	219%	46%	173%	16	30	54
		131,0%		13,52										
		116,8%		13,46										
		116,4%		13,63										

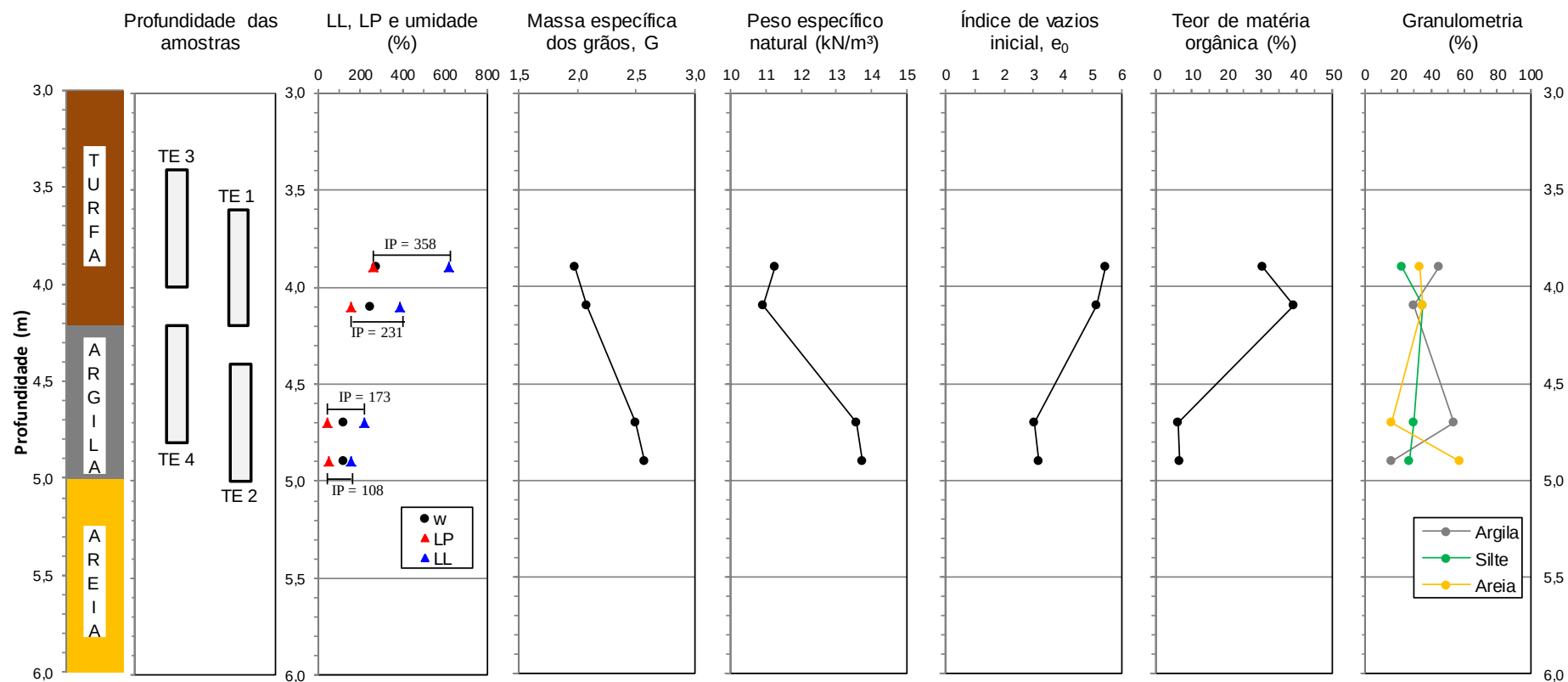


Figura 5.2 – Perfil dos parâmetros de caracterização

5.3.2

Preparação dos corpos de prova

O procedimento de moldagem dos corpos de prova seguiu rigorosamente as recomendações preconizadas em Ladd e DeGroot (2003), que se destacam principalmente pelo fato de o solo não ser extrudado por inteiro de dentro do tubo amostrador. Para isso, a cada corpo de prova a ser moldado o tubo é serrado cuidadosamente sem seccionar o solo em seu interior. Essa separação entre o trecho serrado e o restante do solo contido no tubo é feita com um fio de aço fino (usualmente uma corda fina de violão). Após isso, o fio de aço é passado várias vezes entre a parede interna do tubo e o solo, promovendo o descolamento entre as interfaces. Para isso faz-se uso de uma agulha fina e comprida para conduzir o fio de aço de um lado a outro da amostra, tão junto à parede interna do tubo quanto possível.

Com essas medidas, o procedimento é um pouco mais demorado do que o convencional e, além disso, o tubo amostrador é perdido. Entretanto, o ganho de qualidade dos resultados obtidos compensa o maior custo associado à execução segundo essa técnica, conforme apontado por Sandroni (2006).

O procedimento está descrito com fotos e explicações detalhadas em Aguiar (2008) e Andrade (2009), e a presente campanha de ensaios seguiu o mesmo método.

Seguindo com a moldagem, após o descolamento da interface solo-tubo, o anel metálico biselado (já devidamente untado com graxa de silicone) era cravado estaticamente no centro da amostra, tão verticalmente quanto possível. Para garantir essa verticalidade, foi usado um cravador especialmente construído para esse fim.

Após isso, o fio metálico era passado novamente na interface solo-tubo e só então o solo era extraído do segmento, com o auxílio de um êmbolo de diâmetro ligeiramente inferior ao do tubo amostrador.

A partir daí, passava-se então a esculpir o corpo de prova com um fio de corte tesado em um arco de serra. A porção de solo imediatamente abaixo do anel

metálico era coletada em duas cápsulas para a determinação do teor de umidade do solo.

Em seguida, o anel metálico era limpo externamente com um pano úmido e levado à balança para a determinação de sua massa.

Por fim, o anel era posicionado na bacia de adensamento diretamente sobre a pedra porosa já coberta com água destilada. As pedras foram fervidas previamente em água destilada e mantidas imersas até a equalização de temperatura com o ambiente. Outra verificação prévia feita com as pedras porosas foi a de sua capacidade drenante, saturando-as e colocando algumas gotas de água sobre sua superfície, observando se essas gotas eram ou não drenadas. Em caso negativo, a superfície das pedras era lixada e o teste refeito.

Não foi usado papel filtro, pois havia preocupação quanto à sua decomposição devido à longa duração dos ensaios.

Montada a bacia de adensamento, a mesma era levada à prensa e o sistema era ajustado. Feitos todos os ajustes, a bacia era inundada com água destilada e a carga de assentamento colocada.

Todas as operações descritas nesse item ocorriam na parte da tarde, sendo necessário o tempo aproximado de uma hora para a preparação completa de cada corpo de prova, desde a serragem do tubo até a colocação da carga de assentamento. Ao final da tarde as quatro prensas estavam prontas para o início do ensaio propriamente dito, que ocorria na manhã do dia seguinte.

5.3.3

Metodologia do ensaio

Para os ensaios de adensamento foram coletados quatro tubos Shelby, cuja coleta foi detalhada no capítulo 4.

Convencionalmente, o ensaio de adensamento é executado carregando o corpo de prova a uma tensão inferior à estimada como sendo a de sobreadensamento e dobrando o valor da carga (incremento de carga $\Delta\sigma/\sigma = 1$) em

intervalos de tempo de 24 horas até uma tensão tal que o trecho de compressão virgem esteja suficientemente bem definido. Após isso, inicia-se o descarregamento da amostra em etapas também de 24 horas até a tensão de assentamento, podendo ser feita uma nova fase de carregamento para melhor se entender o comportamento sobreadensado do solo.

Entretanto, para muitos solos argilosos o período de 24 horas inclui uma parcela de compressão secundária, fazendo com que o valor lido no extensômetro seja menor do que o correspondente ao final da compressão primária. Como consequência disso, a curva de compressão (deformação ou índice de vazios em função da tensão vertical efetiva) é deslocada para baixo, resultando em um valor de tensão de sobreadensamento (σ'_p) cerca de $15 \pm 5\%$ menor do que o valor real (Ladd e DeGroot, 2003).

Por conta disso, torna-se interessante executar o ensaio utilizando como critério de carregamento o fim do adensamento primário, que pode ser previsto a partir do Método de Taylor. Para isso, a curva de adensamento é plotada em tempo real em função da raiz do tempo e quando é atingido o grau de adensamento médio de 90% pode-se estimar qual será a leitura do extensômetro correspondente a 100%, ou seja, o final do adensamento primário. No momento em que a leitura chegar naquele valor o novo carregamento é realizado.

Porém, um inconveniente comum aos dois critérios de carregamento apresentados anteriormente, é que as curvas de compressibilidade são obtidas para diferentes velocidades de deformação específica ($d\varepsilon/dt$). Para contornar essa situação, o Grupo de Reologia de Solos da COPPE adota como critério de carregamento a velocidade $d\varepsilon/dt = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, pois a experiência do Grupo mostra que essa é a primeira potência inteira de 10 após o fim do adensamento primário (calculado tanto pelo Método de Taylor quanto pelo Método de Casagrande), para corpos de prova cuja distância de drenagem é menor ou igual a 1 centímetro.

Esse critério foi usado por Aguiar (2008) e Andrade (2009), e a expressão empregada para o cálculo da velocidade de deformação específica foi:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\Delta H}{H} \cdot \frac{1}{\Delta t} \quad (5.1)$$

Nos ensaios do presente trabalho procurou-se usar o mesmo critério de carregamento, baseado na velocidade $d\varepsilon/dt = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, porém isso só foi possível para as amostras de solo argiloso. Nas amostras de solo turfoso foi empregado o critério de carregamento ao fim do primário, e o motivo é apresentado no item 5.3.4.3 (Ensaio na amostra TE3).

Outro procedimento adotado foi o recomendado por Ladd e DeGroot (2003), de usar incrementos de carga de $\Delta\sigma/\sigma = 0,5$ nas proximidades do valor estimado para a tensão de sobreadensamento. O objetivo foi melhor definir a curva de compressibilidade naquela vizinhança e aumentar a exatidão na determinação da tensão de sobreadensamento (σ'_p).

Por fim, todos os ensaios incluíram um período de observação da compressão (ou expansão) secundária no último estágio de carregamento.

5.3.4

Características dos ensaios e dos corpos de prova

A tabela 5.2 descreve as características de todos os ensaios de adensamento realizados. Para facilitar a referência a algum dos ensaios mais adiante na presente dissertação, será adotada a nomenclatura TEX-Y, onde “TE” significa que se trata de um corpo de prova oriundo de uma amostra retirada em Terra Encantada, “X” é o número do tubo Shelby conforme identificado no capítulo 4 e “Y” é o número do corpo de prova. A figura 5.3 mostra a posição de cada corpo de prova em cada tubo Shelby.

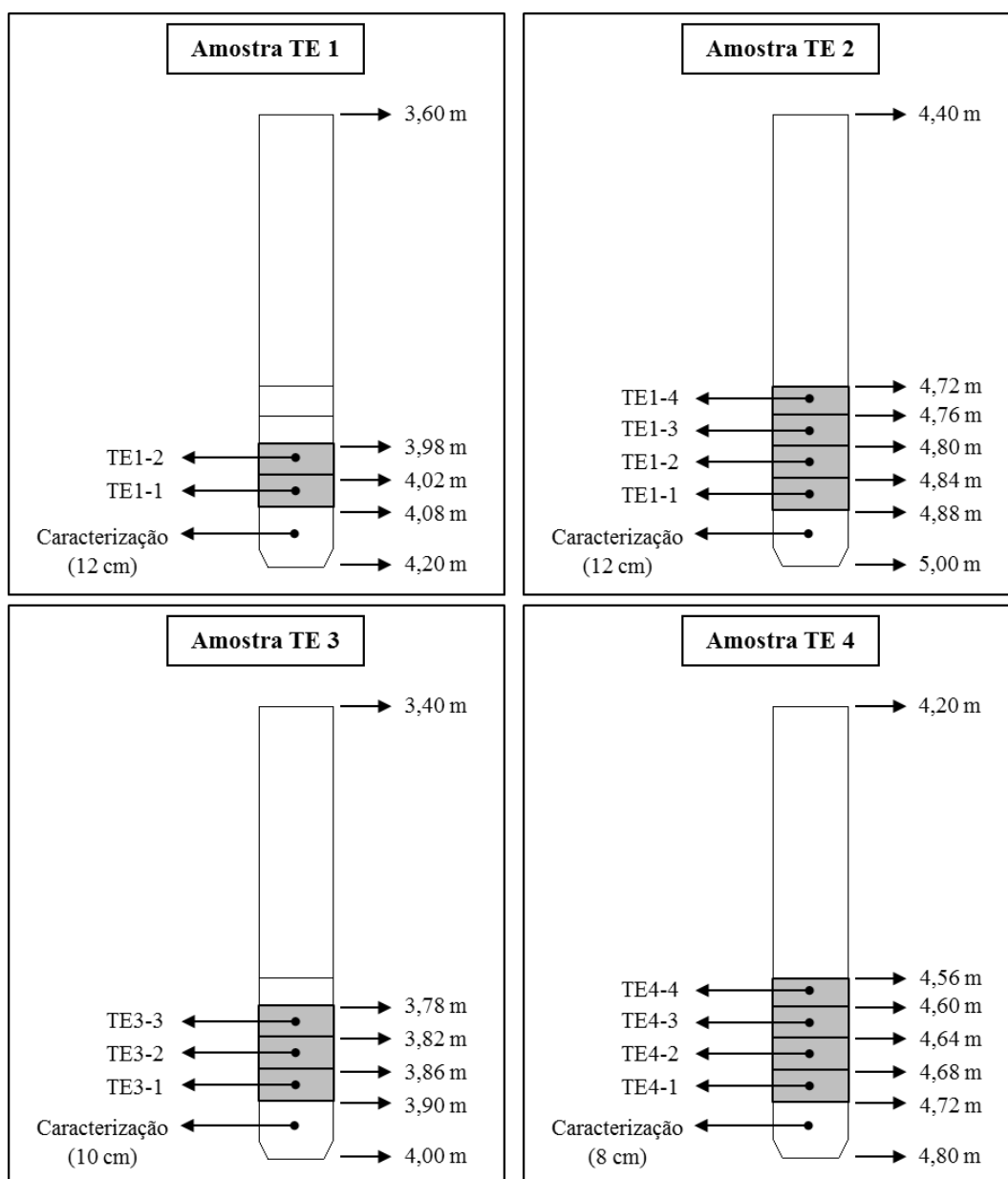


Figura 5.3 – Posição dos corpos de prova nos tubos amostradores

Tabela 5.2 – Características dos ensaios de adensamento oedométrico

Amostra	Profundidade de coleta (m)	Ensaio	Corpo de prova	Profundidade do CP (m)	Mudança do carregamento	Duração do ensaio	OCR (descarga)	Estágio de carregamento e descarregamento (kPa)
TE 1	3,60 a 4,20	1	TE1-1	4,05	EOP	45 dias	-	3,8 - 7,6 - 11,4 - 17,1 - 25,6 - 38,2 - 57,2 - 86,1 - 172,2 - 344,3 - 688,7 - 344,3 - 172,2 - 86,1 - 57,0 - 25,3 - 50,6 - 101,3 - 202,5 - 405,1 - 802,2 (33 dias)
		2	TE1-2	4,00	EOP	43 dias	-	2,5 - 5,0 - 7,5 - 11,3 - 16,9 - 25,5 - 38,0 - 56,8 - 84,4 - 169,8 - 340,5 - 681,9 - 340,5 - 169,8 - 84,4 - 42,3 - 21,1 (30 dias)
TE 2	4,40 a 5,00	1	TE2-1	4,86	$\dot{\varepsilon} = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$	226 dias	2,0	3,125 - 6,25 - 12,5 - 25 - 37,5 - 50 - 75 - 150 - 300 - 600 - 300 (226 dias)
		2	TE2-2	4,82	$\dot{\varepsilon} = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$	226 dias	3,0	3,125 - 6,25 - 12,5 - 25 - 37,5 - 50 - 75 - 150 - 300 - 600 - 200 (226 dias)
		3	TE2-3	4,78	$\dot{\varepsilon} = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$	226 dias	4,0	3,125 - 6,25 - 12,5 - 25 - 37,5 - 50 - 75 - 150 - 300 - 600 - 150 (226 dias)
		4	TE2-4	4,74	$\dot{\varepsilon} = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$	226 dias	6,0	3,125 - 6,25 - 12,5 - 25 - 37,5 - 50 - 75 - 150 - 300 - 600 - 100 (226 dias)
TE 3	3,40 a 4,00	1	TE3-1	3,88	EOP	62 dias	1,5	3,125 - 6,25 - 12,5 - 25 - 37,5 - 50 - 75 - 150 - 300 - 600 - 300 (40 dias) - 100 (16 dias)
		2	TE3-2	3,84	EOP	49 dias	2,0	3,125 - 6,25 - 12,5 - 25 - 37,5 - 50 - 75 - 150 - 300 - 600 - 250 (38 dias) - 100 (3 dias)
		3	TE3-3	3,80	EOP	62 dias	2,4	3,125 - 6,25 - 12,5 - 25 - 37,5 - 50 - 75 - 150 - 300 - 600 - 400 (33 dias) - 100 (16 dias)
TE 4	4,20 a 4,80	1	TE4-1	4,70	$\dot{\varepsilon} = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$	54 dias	1,5	3,125 - 6,25 - 12,5 - 25 - 37,5 - 50 - 75 - 150 - 300 - 600 - 400 (23 dias) - 200 (30 dias)
		2	TE4-2	4,66	$\dot{\varepsilon} = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$	54 dias	2,0	3,125 - 6,25 - 12,5 - 25 - 37,5 - 50 - 75 - 150 - 300 - 600 - 300 (23 dias) - 150 (30 dias)
		3	TE4-3	4,62	$\dot{\varepsilon} = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$	54 dias	2,4	3,125 - 6,25 - 12,5 - 25 - 37,5 - 50 - 75 - 150 - 300 - 600 - 250 (23 dias) - 100 (30 dias)
		4* (amolg.)	TE4-4	4,58	$\dot{\varepsilon} = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$	54 dias	1,5	3,125 - 6,25 - 12,5 - 25 - 50 - 100 - 200 - 400 - 600 - 400 (22 dias) - 200 (30 dias)

5.3.4.1

Ensaio na amostra TE1

O solo contido no tubo amostrador pode ser descrito como uma argila orgânica turfosa, amorfa, de coloração marrom escura e odor característico (semelhante a esgoto). Ao toque, o solo assemelha-se a uma borracha macia, com certa parcela de recuperação elástica quando comprimido com os dedos, sendo observada uma espécie de “esfarelamento”, como se o solo estivesse ressecado. Entretanto, o teor de umidade estava próximo aos 300%.

Solo com características muito semelhantes foi observado em ensaios desenvolvidos por Martins (2000) no local conhecido como Rótula da Barra, no Rio de Janeiro (intersecção da Av. Ayrton Senna com Av. Abelardo Bueno), local que dista cerca de 500 metros do terreno ora em estudo. Naquela ocasião, Martins descreveu o material como apresentando consistência de um “flan” (pudim) e com aspecto de “gelatina”. Martins, Santa Maria e Santa Maria (2009) descreveram o material como “dark pudding” (pudim escuro), e forneceram outras informações sobre o comportamento do solo.

Pode-se tentar descrever o solo usando, ainda, o sistema de von Post (1922 apud Landva & Pheeney, 1980), que classifica o grau de humificação e decomposição de turfas a partir de um exame visual-táctil feito ao tomar uma porção do solo na mão e pressiona-la, observando o material extrudado por entre os dedos. Por esse sistema, verifica-se que todo o material passa por entre os dedos, sem deixar resíduos aderidos na mão e sem a surgência de água durante a compressão, podendo o solo ser classificado como H_{10} (completamente decomposto). A figura 5.4 mostra fotos dessa verificação em uma amostra do solo.

O processo de moldagem foi complicado pois o solo não aderiu ao anel metálico biselado e parecia estar solto dentro do mesmo.

Nesta amostra só foram realizados ensaios de adensamento em dois corpos de prova, pois quando da moldagem do primeiro CP (TE1-1) foi verificada a presença de um plano de descontinuidade vertical no centro do solo amostrado. Procurou-se moldar o corpo de prova seguinte (TE1-2) em posição tal que essa

fissura não o atravessasse, sendo usado para isso um anel biselado com diâmetro de 50 mm. Quando o tubo foi serrado para a moldagem do terceiro corpo de prova, verificou-se que a fissura estava em posição tal que impedia até mesmo a moldagem com o anel de diâmetro menor. Por esse motivo, não foram feitos outros ensaios de adensamento com a amostra TE1.

A sequência de carregamento usada foi semelhante em cada ensaio, sendo que TE1-1 contou com um “laço” de recarregamento até ser alcançado novamente o trecho virgem da curva de compressão. Em ambos os ensaios a compressão secundária foi observada por um período aproximado de 30 dias quando do último estágio, sendo que em TE1-1 isso se deu no último estágio de recarregamento e em TE1-2 no último estágio de descarregamento.

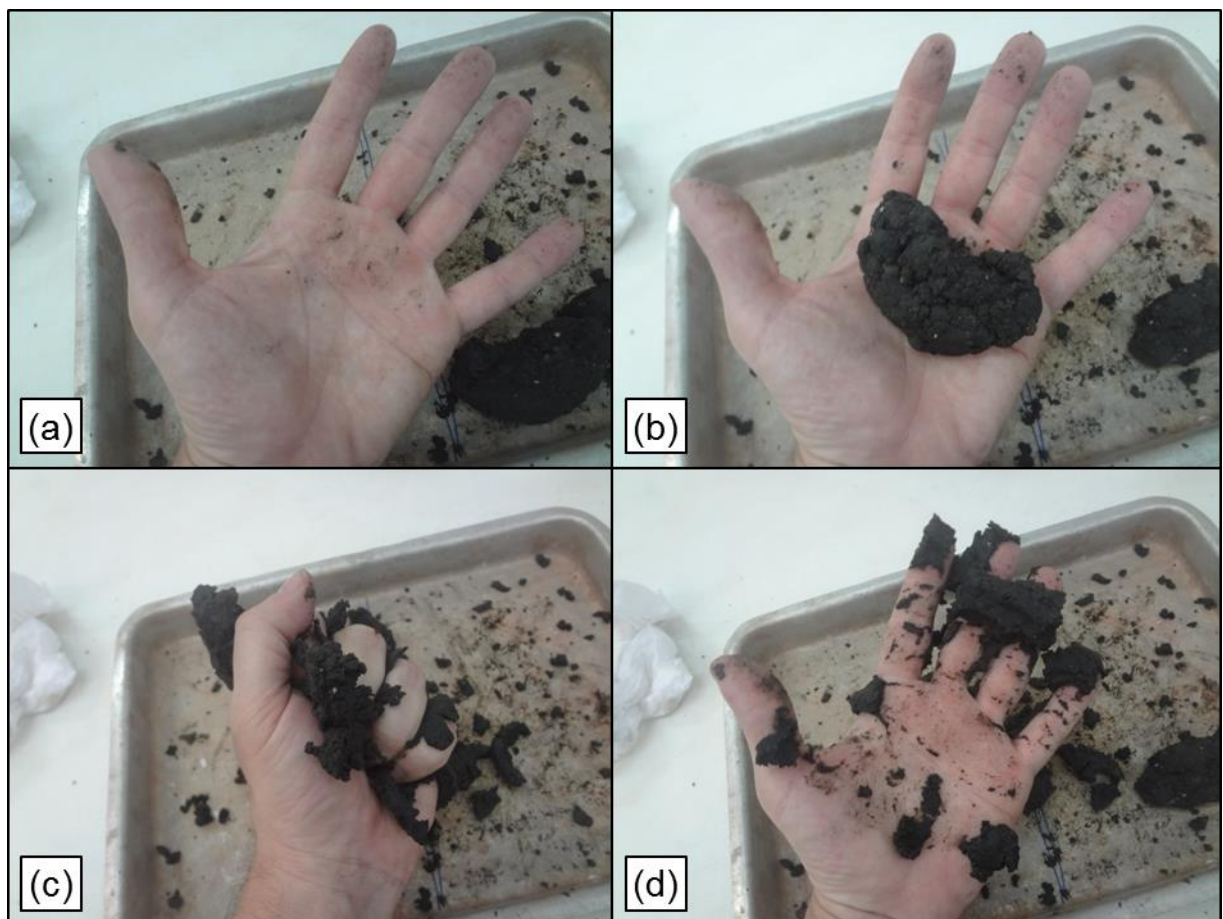


Figura 5.4 – Classificação do solo turfoso pelo sistema de von Post

5.3.4.2

Ensaaios na amostra TE2

O solo ensaiado era uma argila de consistência mole, cor cinza e odor característico (menos intenso), porém com natureza bastante distinta da encontrada no solo da camada turfosa superior. Verificou-se presença de microconchas e fragmentos de conchas com diâmetro máximo de 1 mm, concentrando-se em quantidade maior no bico do tubo amostrador e menor mais acima.

O procedimento de moldagem pôde ser feito seguindo a técnica usual, sem os riscos descritos para as amostras de argila turfosa.

A água empregada na saturação das pedras porosas e na inundação das bacias de adensamento foi coletada do terreno, em furo contíguo ao de extração das amostras, na mesma profundidade. As características químicas dessa água são apresentadas no item 5.4.2.

Nesta amostra foram ensaiados quatro corpos de prova, e as sequências de carregamento de todos os corpos de prova foram as mesmas, partindo da carga de assentamento de 3,13 kPa até a carga máxima de 600 kPa. No último estágio, após o fim do adensamento primário, cada corpo de prova foi descarregado segundo um OCR diferente, sendo observados por 200 dias.

Durante o período de observação, após o descarregamento, os aparelhos de ar condicionado do laboratório precisaram ser desligados em duas ocasiões, entre o 23º e 25º dia de ensaio, no qual a temperatura do laboratório chegou a 35 °C e entre o 36º e 42º dia, quando a temperatura chegou a 37 °C. Essa situação, aparentemente, não influenciou nas conclusões tiradas dos resultados dos ensaios.

5.3.4.3

Ensaaios na amostra TE3

Solo turfoso com características idênticas às observadas na amostra TE1.

A moldagem dos corpos de prova do tubo TE3 exigiu procedimentos consideravelmente mais cuidadosos do que o usual, pois o corpo de prova possuía pouca aderência ao anel metálico e o risco de que o solo rachasse ou caísse era iminente. Por isso, o corpo de prova foi manuseado em todas as etapas amparado por duas placas de vidro protegidas com papel celofane para evitar perda de umidade do solo. A limpeza do anel metálico e a pesagem também foram operações delicadas que exigiram atenção extra.

Após o cuidadoso processo de montagem da bacia de adensamento e de sua colocação na prensa, retornou-se à sala de moldagem para proceder à preparação do próximo corpo de prova. Nesse instante, observou-se que o solo contido no interior do tubo – que permanecera em posição horizontal – havia expandido significativamente, projetando-se para fora da extremidade serrada e descolando das paredes internas do tubo.

Procedeu-se ao corte de mais 4 cm de tubo para a moldagem do corpo de prova TE3-2, e, separado o segmento cortado, o tubo foi colocado em posição vertical, apoiado sobre a extremidade serrada. Tentou-se com isso evitar a curiosa expansão do solo.

Após a colocação de TE3-2 na prensa e o retorno à sala de moldagem para a preparação de TE3-3, o tubo foi colocado na posição horizontal para ser novamente serrado. Instantaneamente, o solo que estava contido no tubo se expandiu na mesma magnitude observada anteriormente. As figuras 5.5 a e b ilustram o ocorrido.

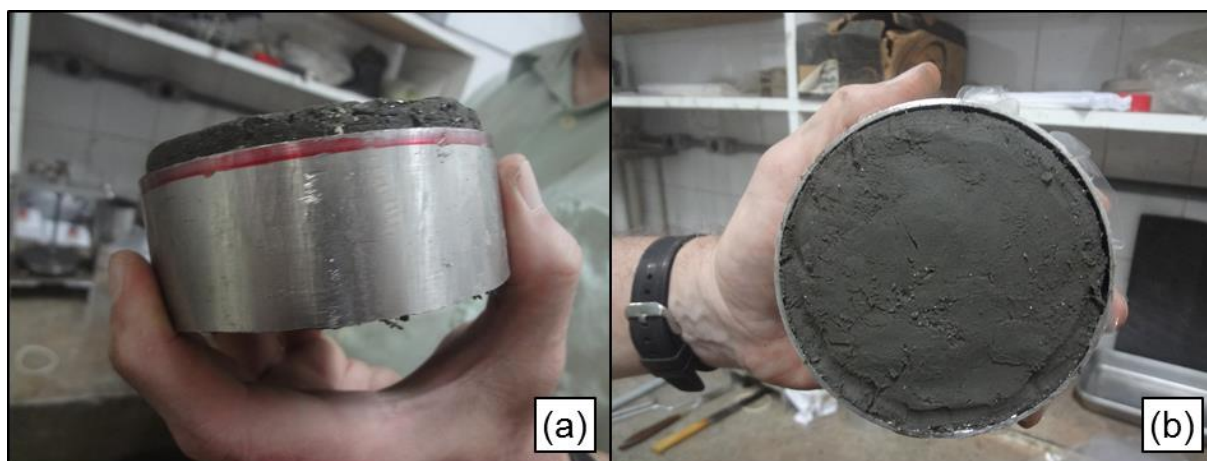


Figura 5.5 – Expansão axial observada durante a moldagem do solo turfoso

Não se compreendeu o motivo desse efeito, porém acredita-se ter sido um evento não drenado, tendo em vista que a expansão axial era acompanhada de contração diametral. Essa contração foi a maior causadora da baixa aderência do solo às paredes internas do anel de adensamento, dificultando consideravelmente o procedimento de moldagem.

Mais sobre as possíveis consequências desse efeito será discutido adiante.

A água empregada na saturação das pedras porosas e na inundação das bacias de adensamento foi coletada do terreno, em furo contíguo ao de extração das amostras, na mesma profundidade. As características químicas dessa água são apresentadas no item 5.4.2.

Nesta amostra foram ensaiados três corpos de prova seguindo a mesma sequência de carregamento, partindo da carga de assentamento de 3,13 kPa até a carga máxima de 600 kPa. No último estágio, após o fim do adensamento primário, cada corpo de prova foi descarregado segundo diferentes OCRs, sendo observados por um período variando entre 50 e 60 dias.

Em seguida, todos os corpos de prova foram descarregados para a tensão de 100 kPa, sendo TE3-1 e TE3-3 observados por 16 dias e TE3-2 observado por 3 dias, pois a prensa precisou ser desmontada para outra finalidade.

Outro aspecto digno de nota é que o critério de realizar o novo estágio de carga quando a velocidade de deformação específica atingisse $d\varepsilon/dt = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ não se aplicou ao solo em estudo. Como as curvas de adensamento estavam sendo traçadas em tempo real, foi possível observar que quando a velocidade de 10^{-6} s^{-1} era atingida o solo ainda se encontrava em processo de adensamento. Nas figuras 5.6 a 5.8 são apresentados alguns estágios onde pode ser visto a porcentagem de adensamento ocorrida para $d\varepsilon/dt = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ e qual era a velocidade de deformação ($d\varepsilon/dt$) quando o extensômetro atingia a leitura correspondente a 100 % de adensamento, estimado pelo Método de Taylor.

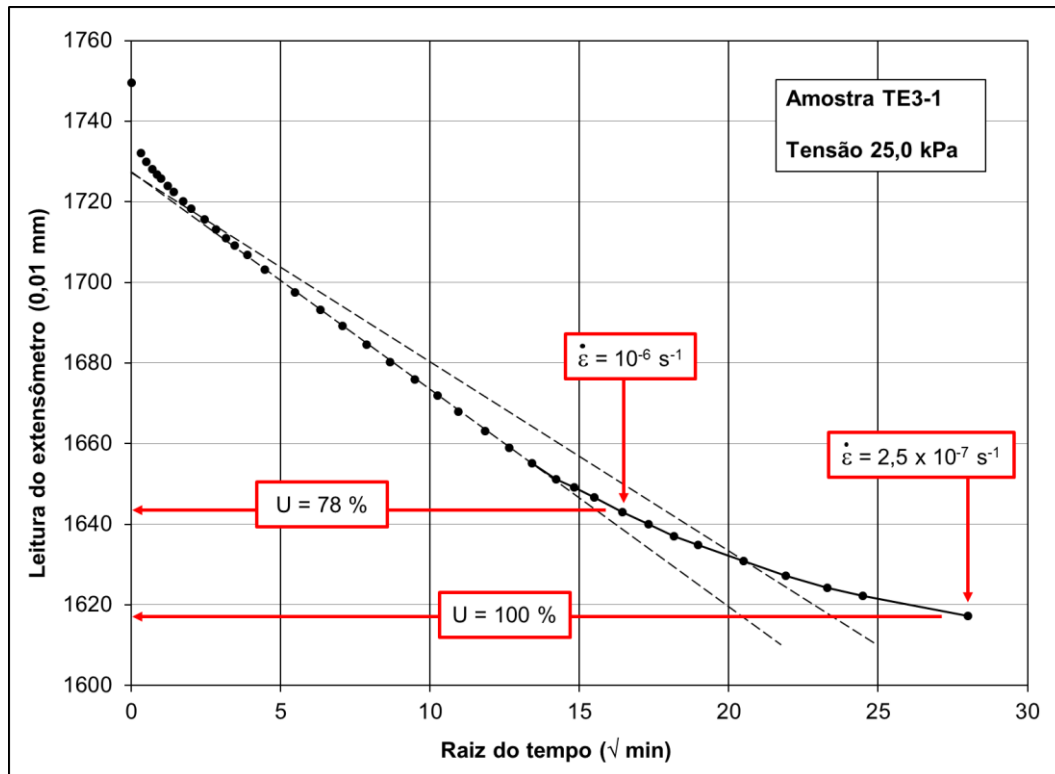


Figura 5.6 – Porcentagem de dissipação de estágio de ensaio

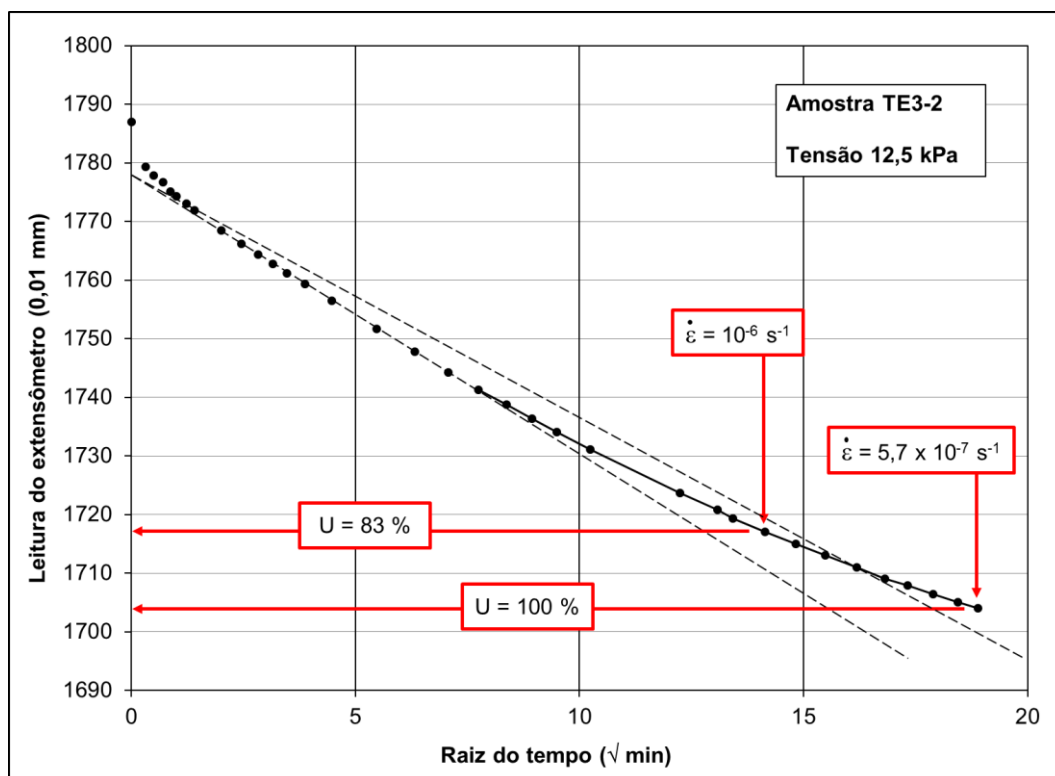


Figura 5.7 – Porcentagem de dissipação de estágio de ensaio

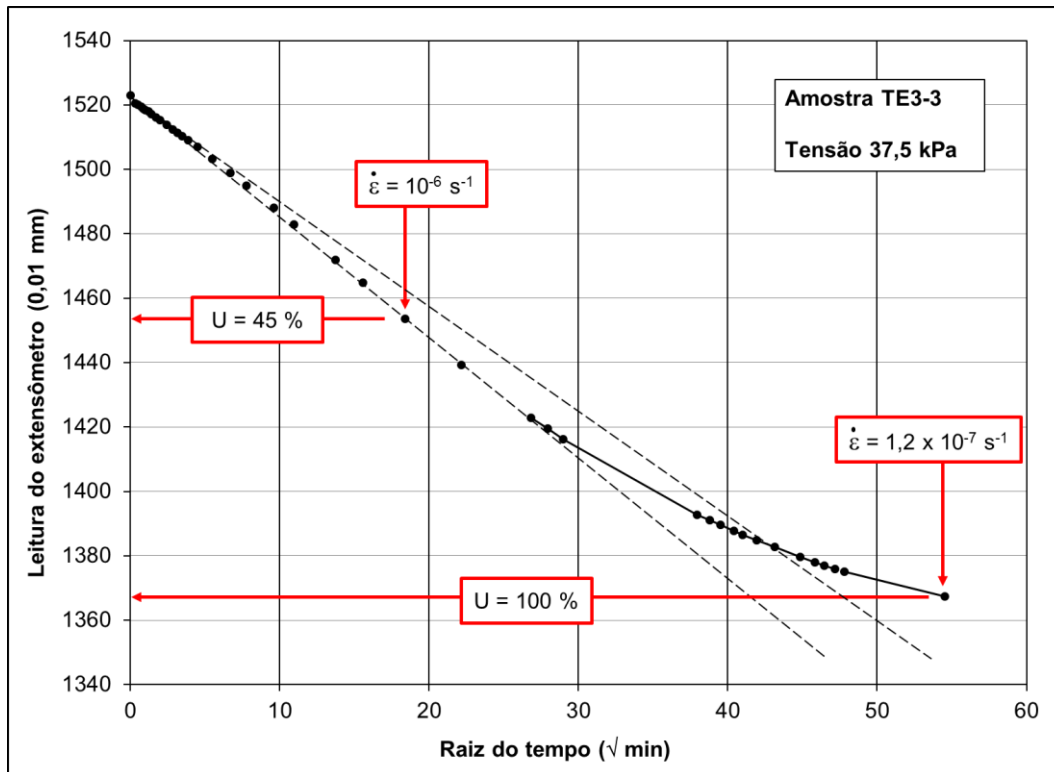


Figura 5.8 – Porcentagem de dissipação de estágio de ensaio

Por esse motivo, para os três corpos de prova dessa amostra foi adotado o critério de carregamento ao fim do adensamento primário, para que não ocorressem carregamentos com excessos de poropressão significativos ainda remanescentes nos corpos de prova.

Como consequência dessas baixas velocidades, o intervalo de tempo para que fosse atingido o fim do adensamento primário foi extremamente longo, chegando a levar 72 horas em um dos estágios. A figura 5.9 mostra a duração de todos os estágios da presente bateria, e a linha tracejada indica o tempo de 24 horas.

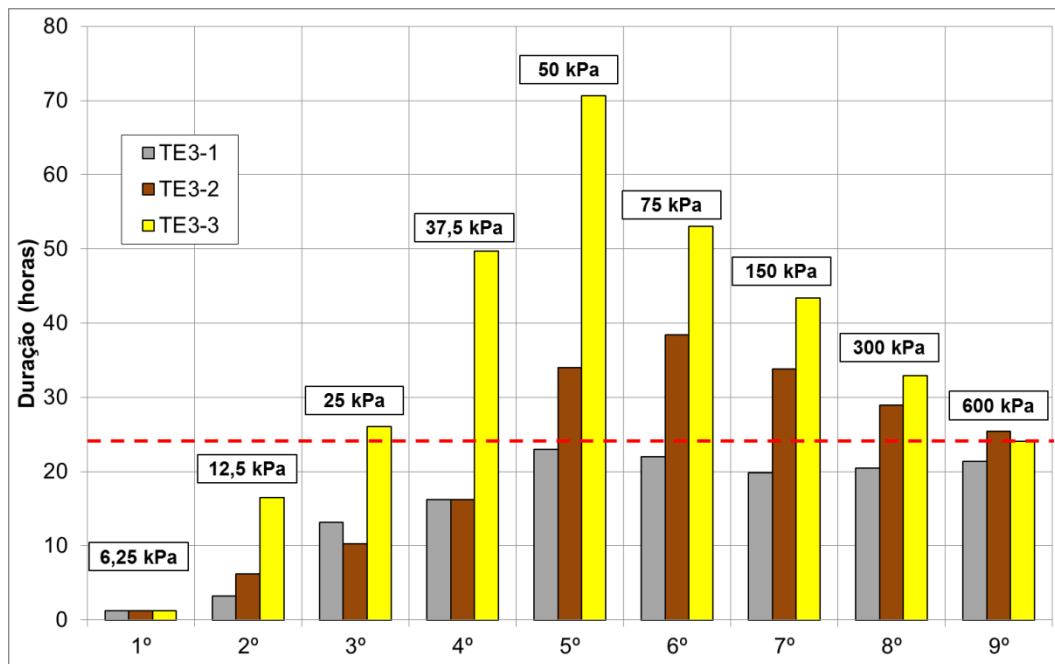


Figura 5.9 – Duração dos estágios no ensaio de adensamento do solo turfoso

5.3.4.4

Ensaio na amostra TE4

O solo ensaiado era uma argila de consistência mole, cor cinza e odor característico (menos intenso), porém com natureza bastante distinta da encontrada no solo da camada turfosa superior. Verificou-se presença de microconchas e fragmentos de conchas com diâmetro máximo de 1 mm, concentrando-se em quantidade maior no bico do tubo amostrador e menor mais acima. Observou-se por volta dos 4,65 m a presença de um “olho” de areia fina, que não chegou a interferir na moldagem do corpo de prova TE4-3.

O procedimento de moldagem pôde ser feito seguindo a técnica usual, sem as ocorrências descritas para as amostras de argila turfosa.

Para a saturação das pedras porosas e inundação das bacias de adensamento foi empregada água destilada.

Nesta amostra foram ensaiados quatro corpos de prova, sendo três indeformados e um intencionalmente amolgado (TE4-4). O objetivo do amolgamento foi servir de referência inferior para a qualidade dos corpos de prova indeformados, já que nenhum destes deveria apresentar a curva de

compressão próxima à curva amolgada. Para amolgar o solo, o mesmo foi retirado do tubo amostrador e colocado dentro de um saco plástico para evitar a perda de umidade. Após isso, o material foi amassado manualmente e em seguida, com auxílio de uma espátula, o anel de adensamento foi totalmente preenchido com esse solo, tomando-se o cuidado para que não fossem deixados espaços vazios. A validade do procedimento foi verificada comparando-se os valores de peso específico aparente dos corpos de prova indeformados (13,52 a 13,66 kN/m³) com o obtido para o corpo de prova amolgado (13,63 kN/m³).

As sequências de carregamento de todos os corpos de prova foram as mesmas, partindo da carga de assentamento de 3,13 kPa até a carga máxima de 600 kPa. No último estágio, após o fim do adensamento primário, cada corpo de prova foi descarregado segundo um OCR diferente, sendo observados por 22 dias.

Após esse período um novo descarregamento foi feito em todos os corpos de prova, novamente com diferentes OCR, sendo essa nova etapa observada por mais 30 dias.

5.3.5

Resultados dos ensaios convencionais

O objetivo dos ensaios de adensamento oedométrico é a obtenção dos parâmetros de compressibilidade e adensamento do solo. No presente item são apresentados os ensaios realizados e os parâmetros obtidos para cada corpo de prova, a saber:

- (i) Índice de recompressão (C_r)
- (ii) Índice de compressão (C_c)
- (iii) Índice de expansão (C_s)
- (iv) Tensão de sobreadensamento (σ'_p)
- (v) Variação do coeficiente de adensamento (c_v)

Esses parâmetros foram calculados conforme esquema já mostrado na figura 2.2. A tensão de sobreadensamento (σ'_p ou σ'_{vm}) foi estimada a partir do Método de Pacheco Silva (1970), e os coeficientes de adensamento (c_v) foram calculados através do Método de Taylor (método da raiz do tempo).

As figuras 5.10 a 5.23 apresentam as curvas de compressão em função do índice de vazios ($e \times \log \sigma'_v$) e a variação do coeficiente de adensamento ($c_v \times \log \sigma'_{v \text{ med}}$) para cada corpo de prova.

As figuras 5.24 a 5.26 apresentam as curvas de compressão em função da deformação volumétrica ($\varepsilon \times \log \sigma'_v$) e a variação dos coeficientes de adensamento ($c_v \times \log \sigma'_{v \text{ med}}$) para todos os corpos de prova de cada tubo amostrador.

A tabela 5.3 apresenta um resumo de todos os parâmetros obtidos com os ensaios de adensamento oedométrico.

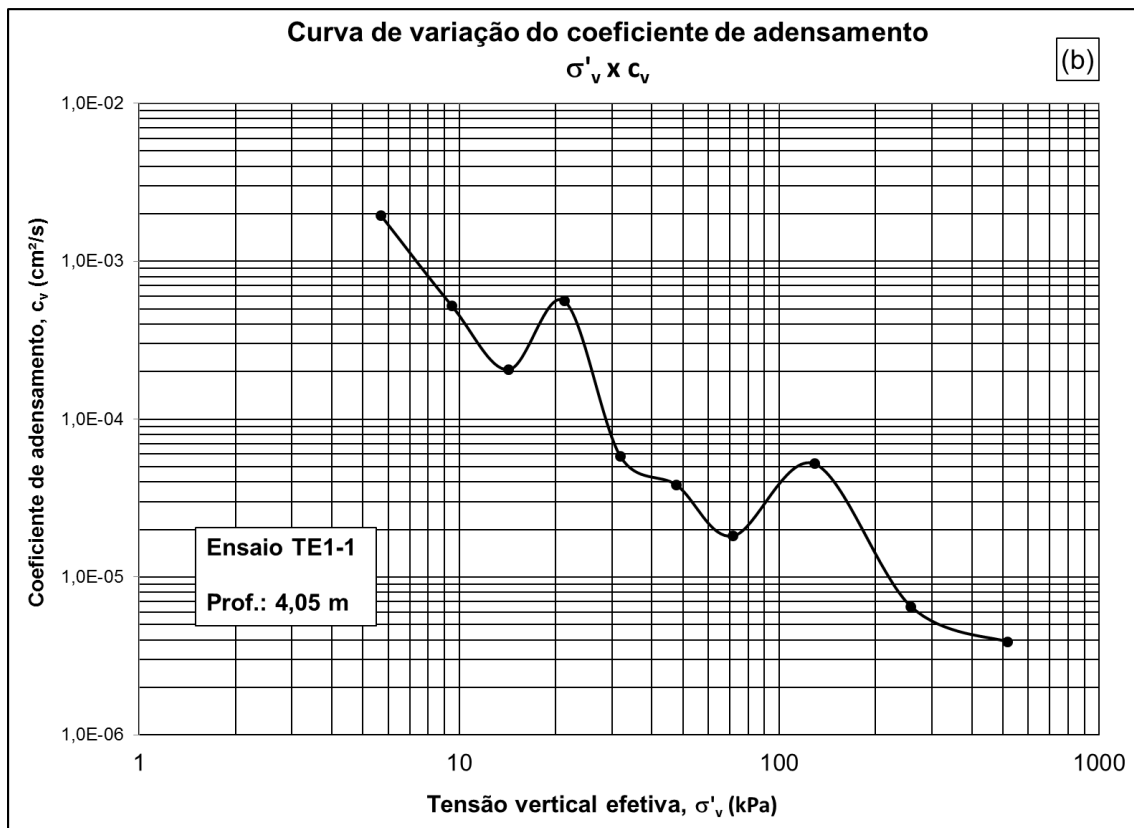
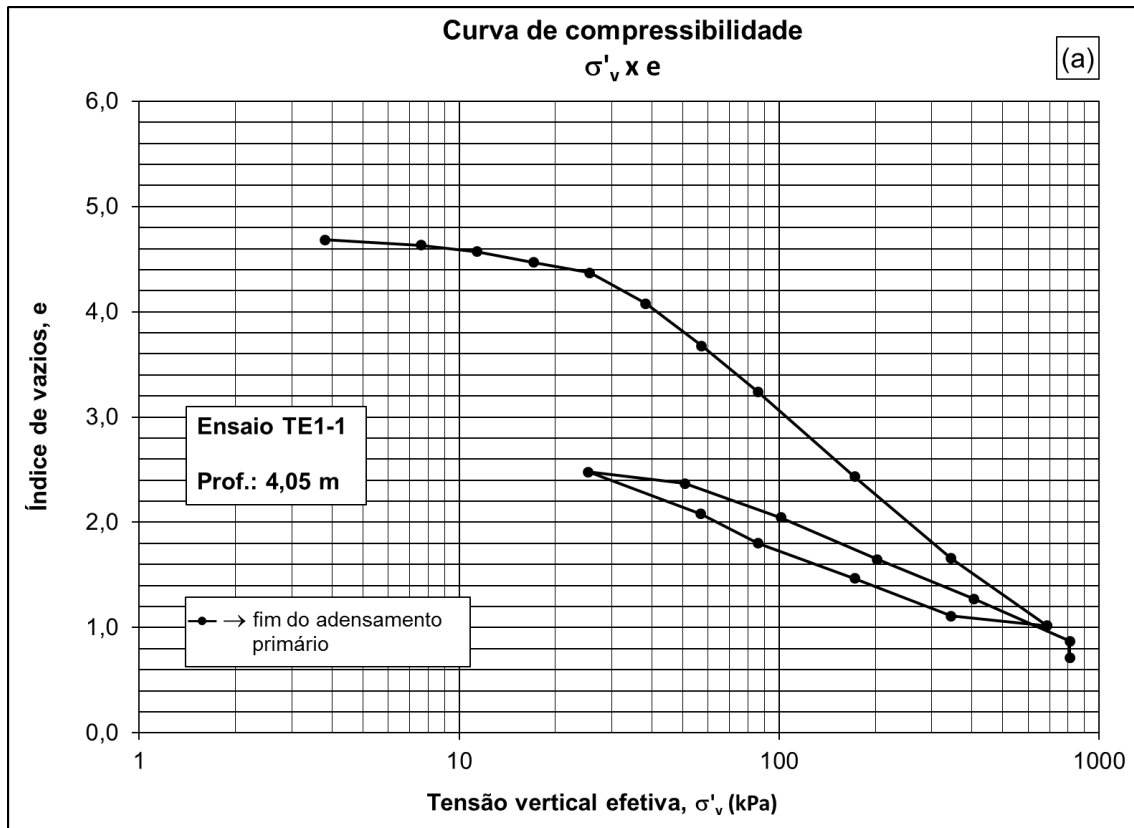


Figura 5.10 – Curva de compressibilidade e variação do coeficiente de adensamento TE1-1

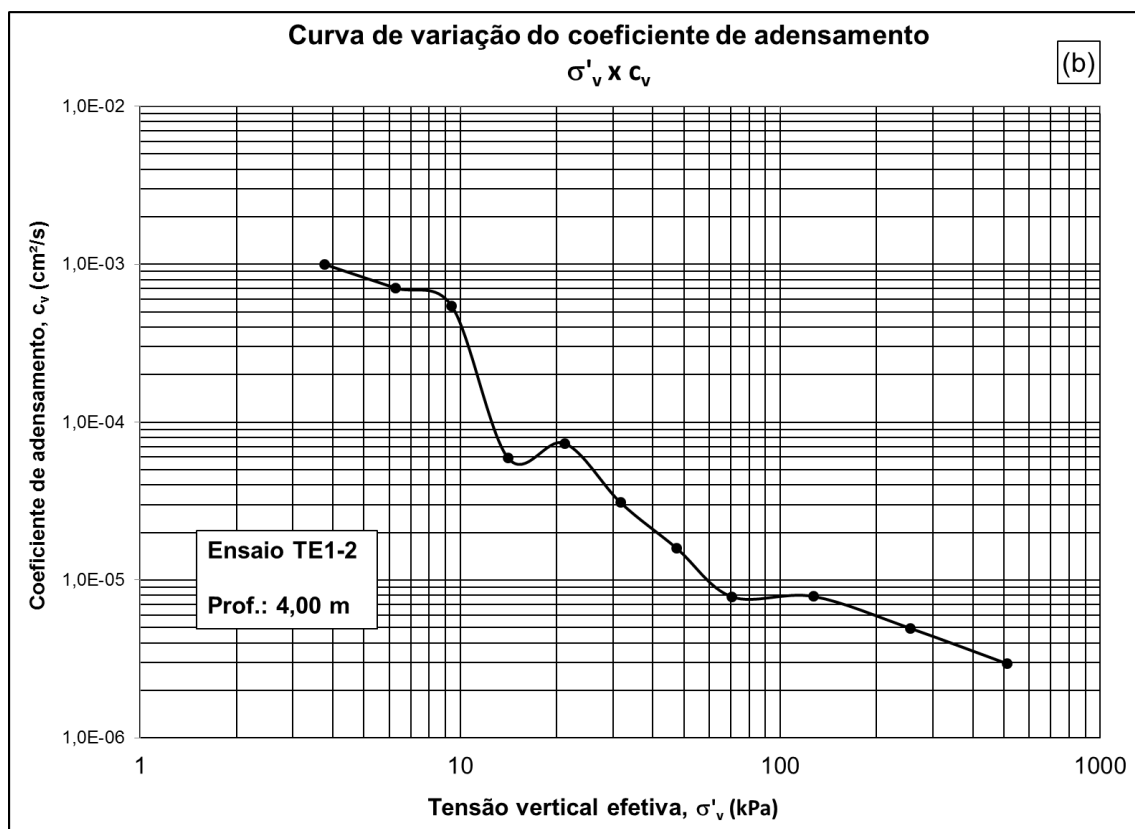
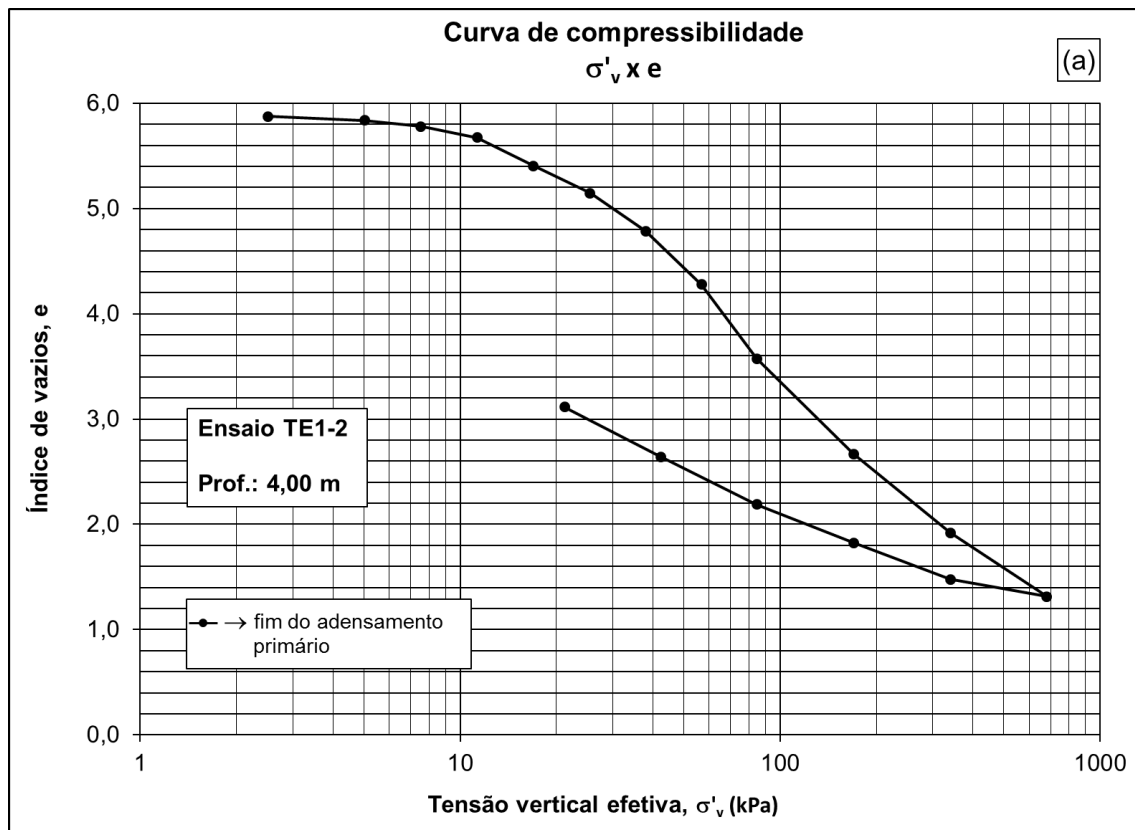


Figura 5.11 – Curva de compressibilidade e variação do coeficiente de adensamento TE1-2

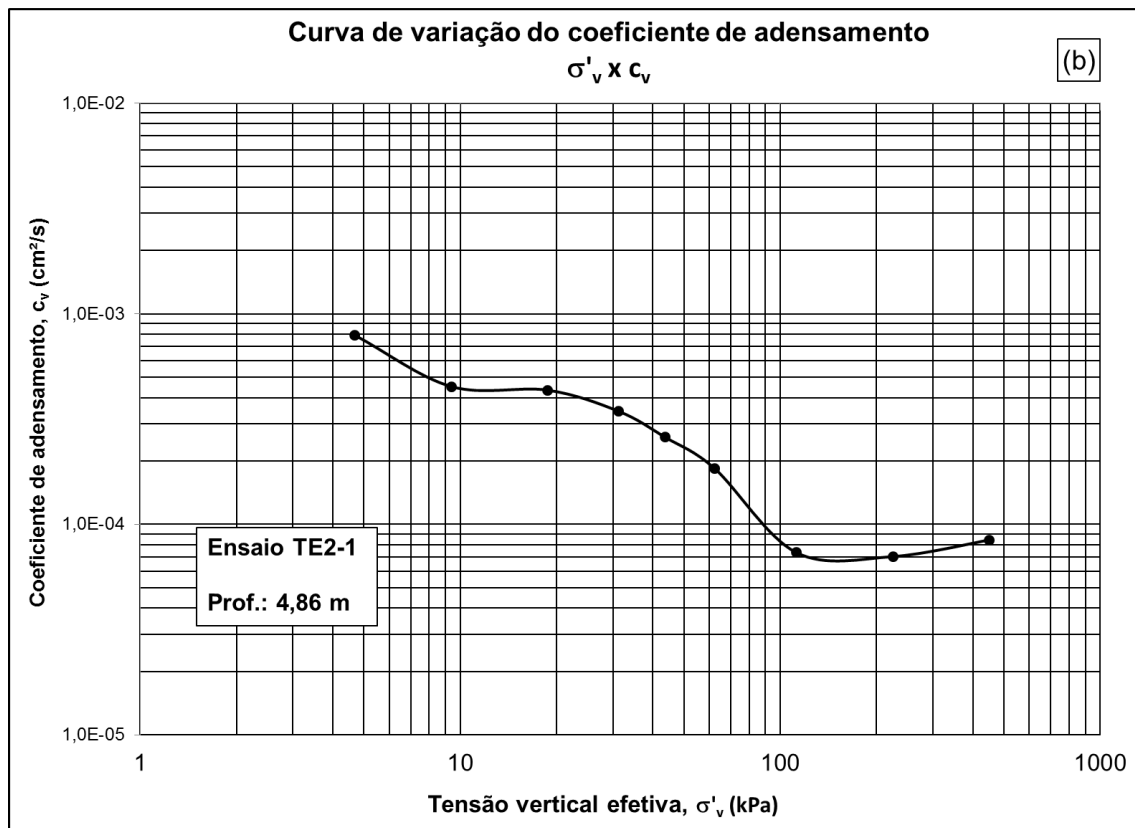
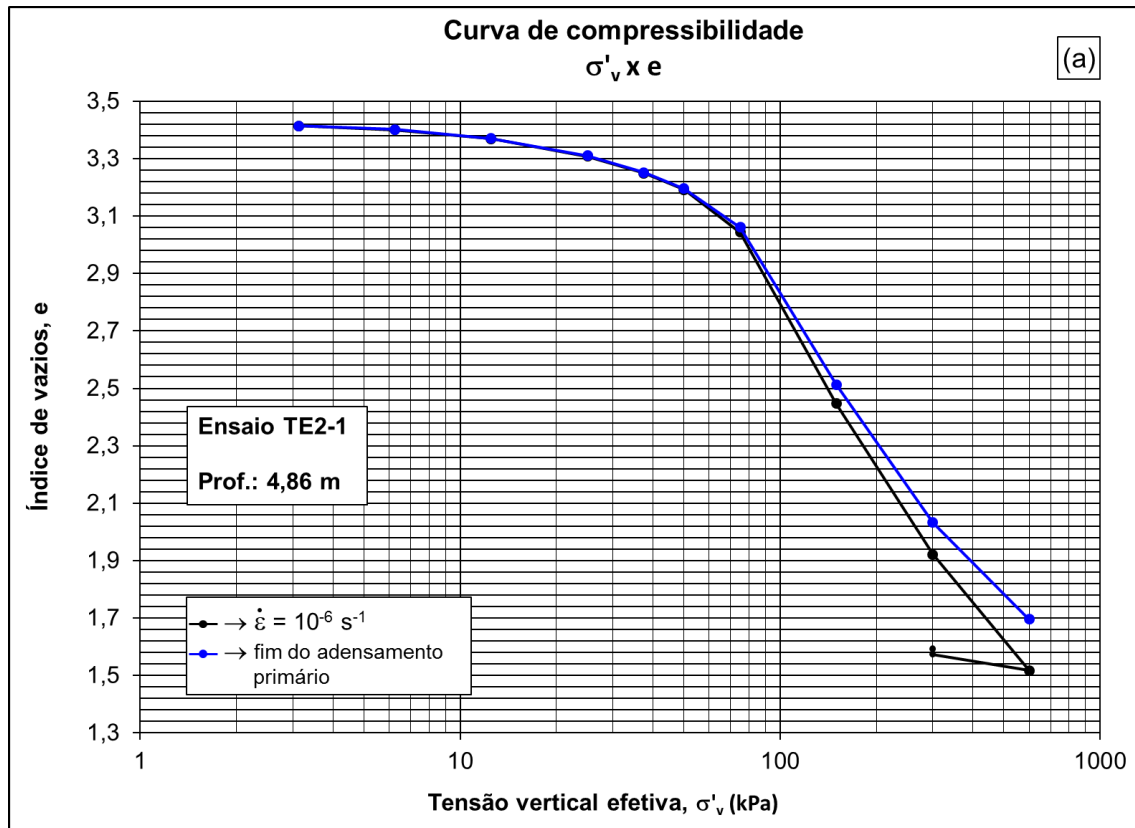


Figura 5.12 – Curva de compressibilidade e variação do coeficiente de adensamento TE2-1

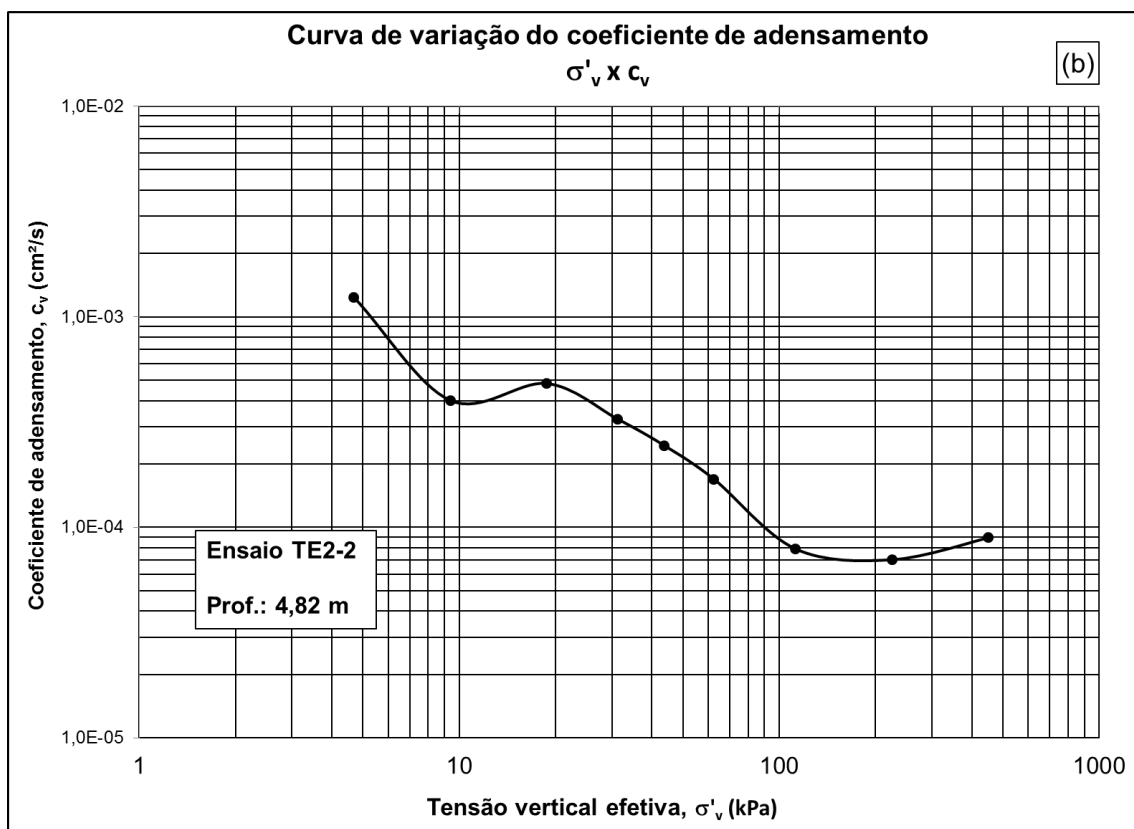
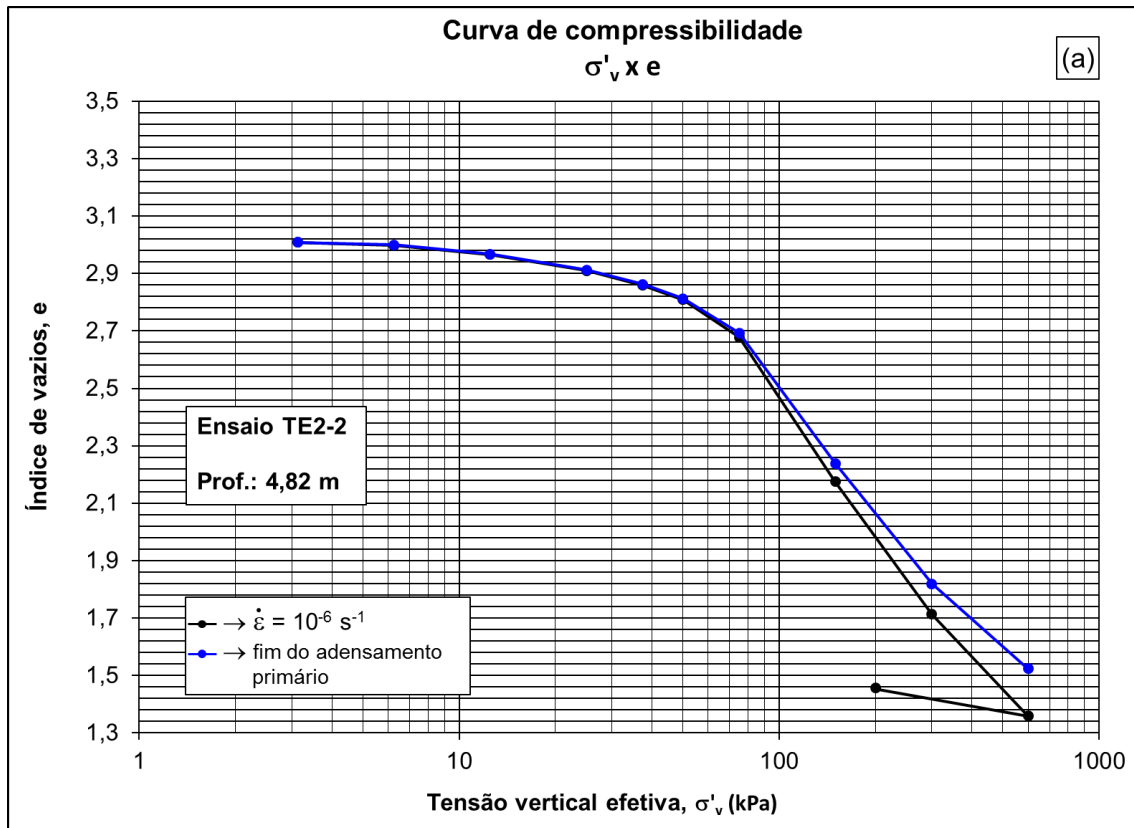


Figura 5.13 – Curva de compressibilidade e variação do coeficiente de adensamento TE2-2

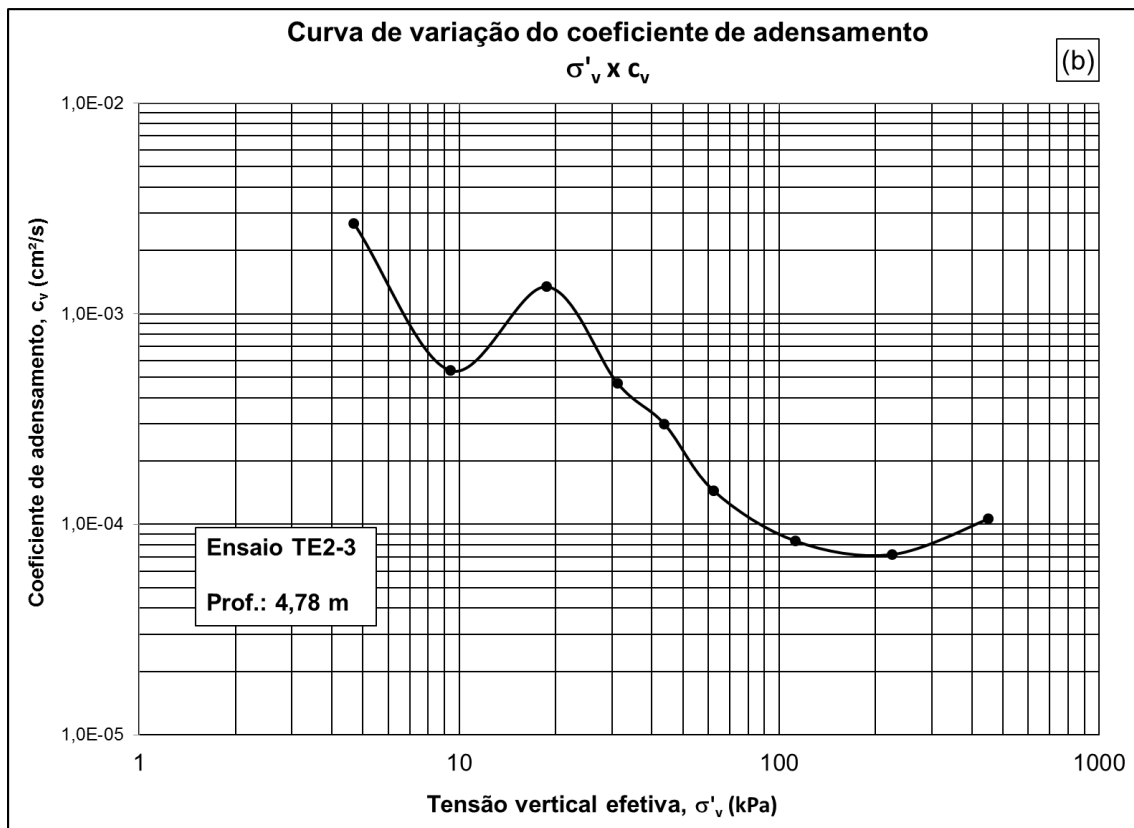
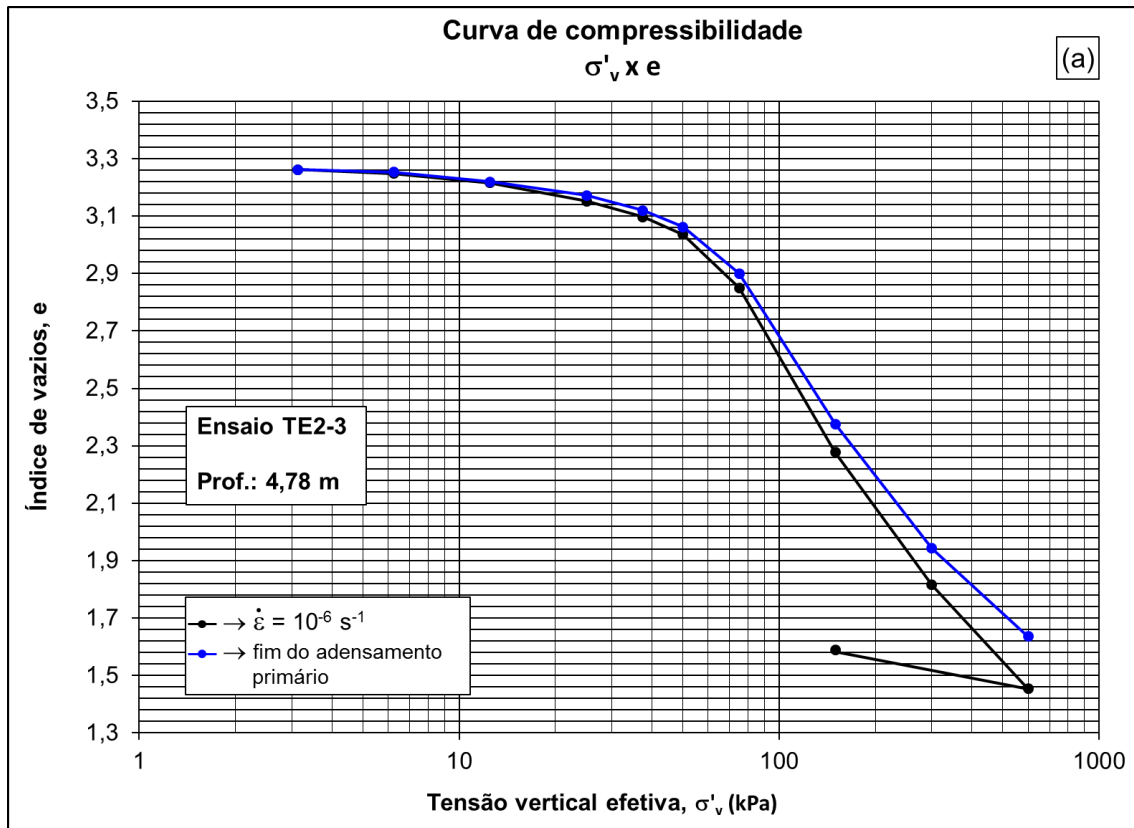


Figura 5.14 – Curva de compressibilidade e variação do coeficiente de adensamento TE2-3

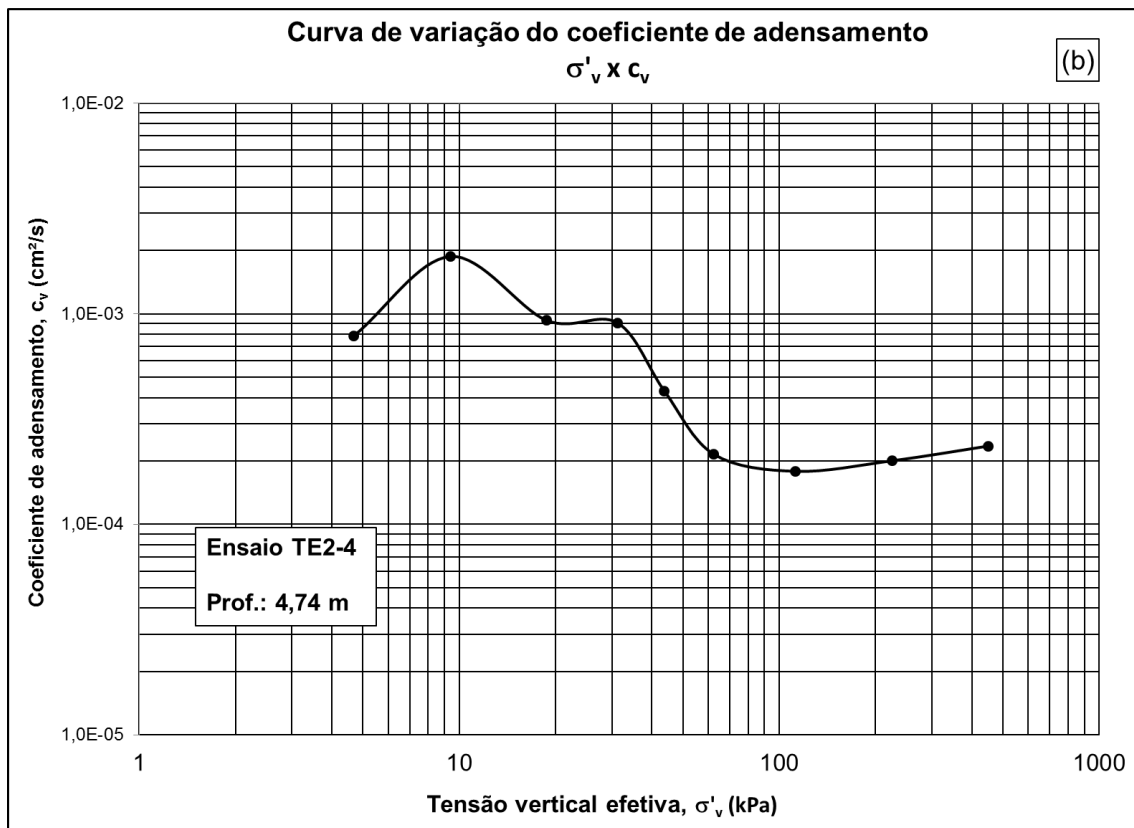
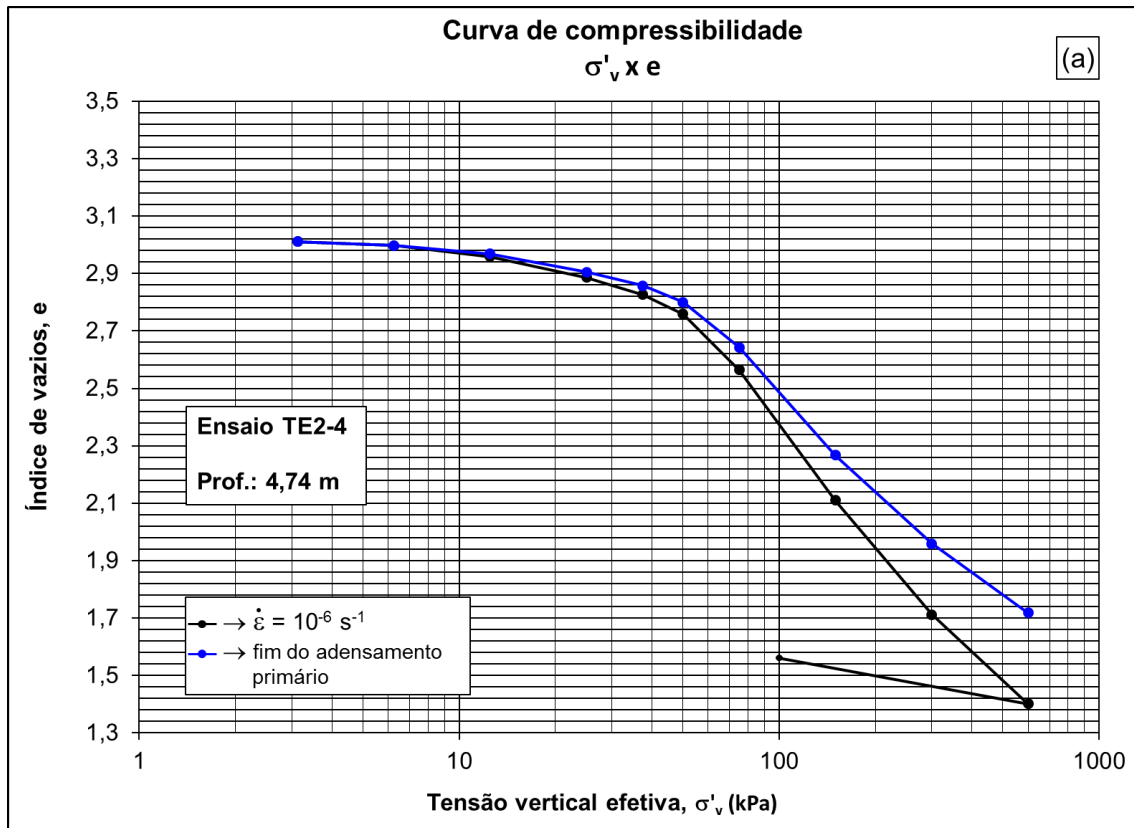


Figura 5.15 – Curva de compressibilidade e variação do coeficiente de adensamento TE2-4

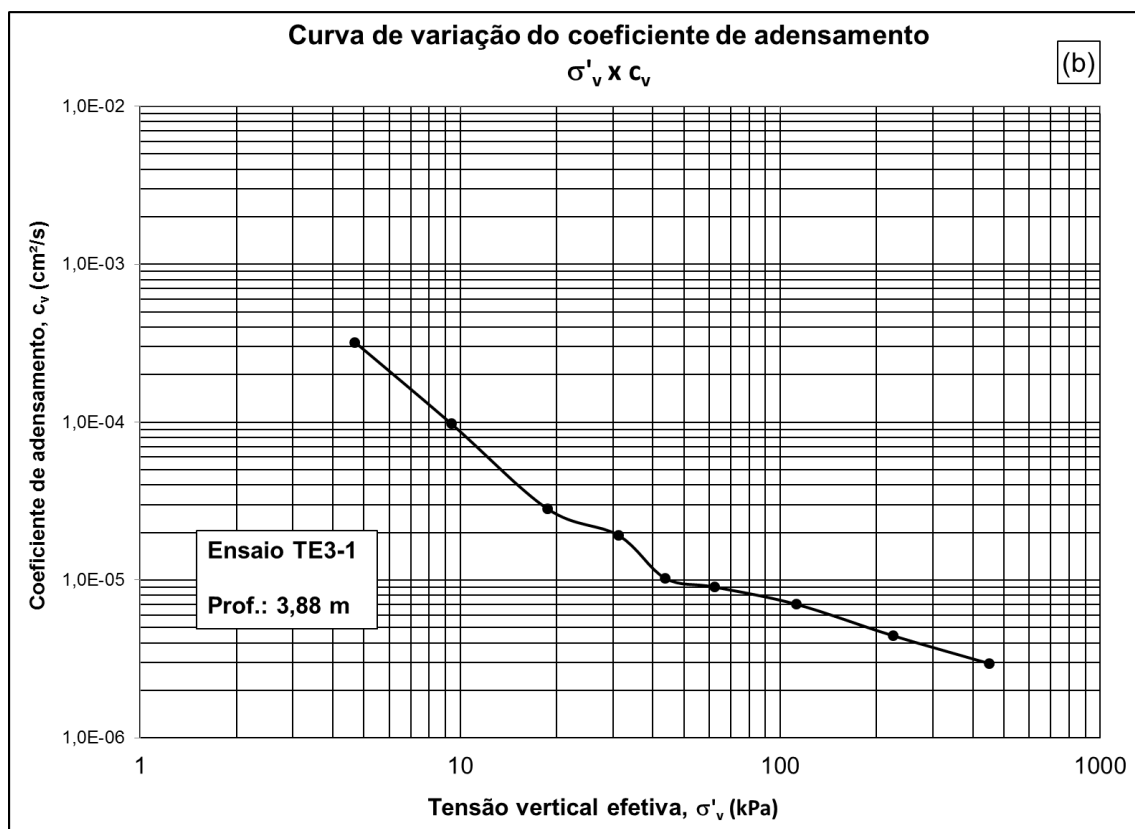
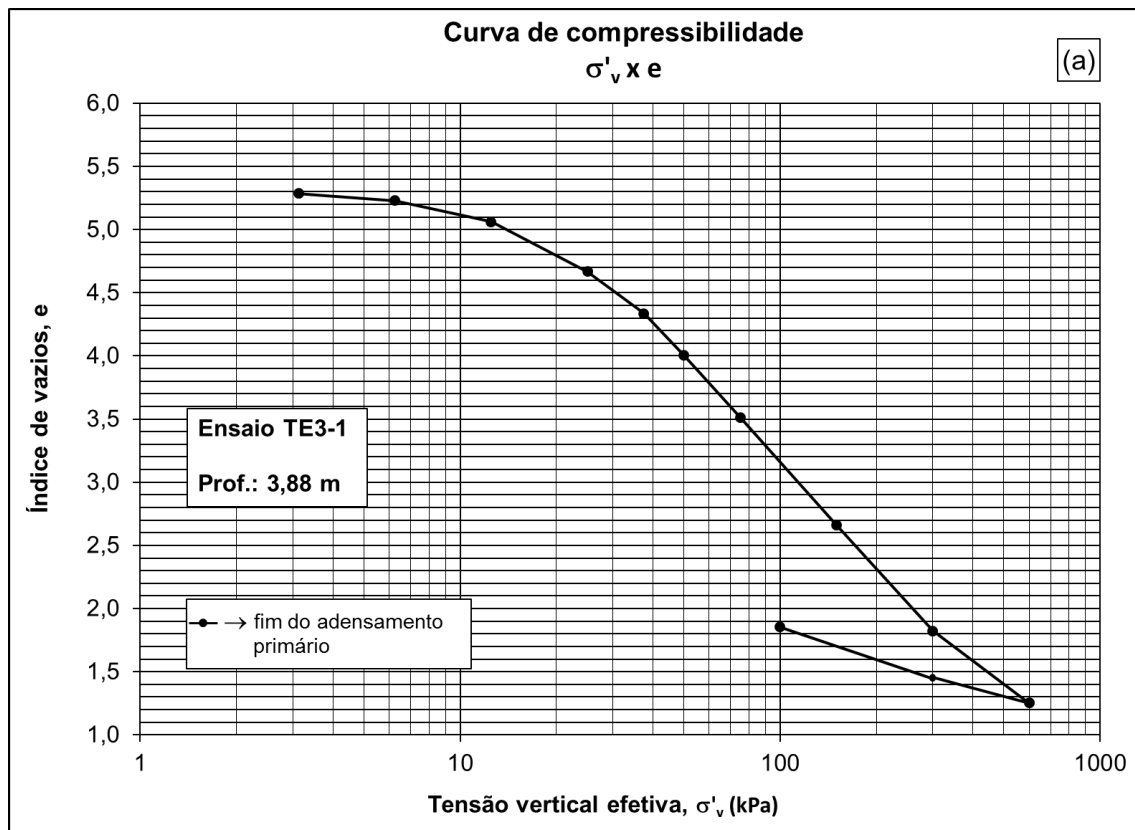


Figura 5.16 – Curva de compressibilidade e variação do coeficiente de adensamento TE3-1

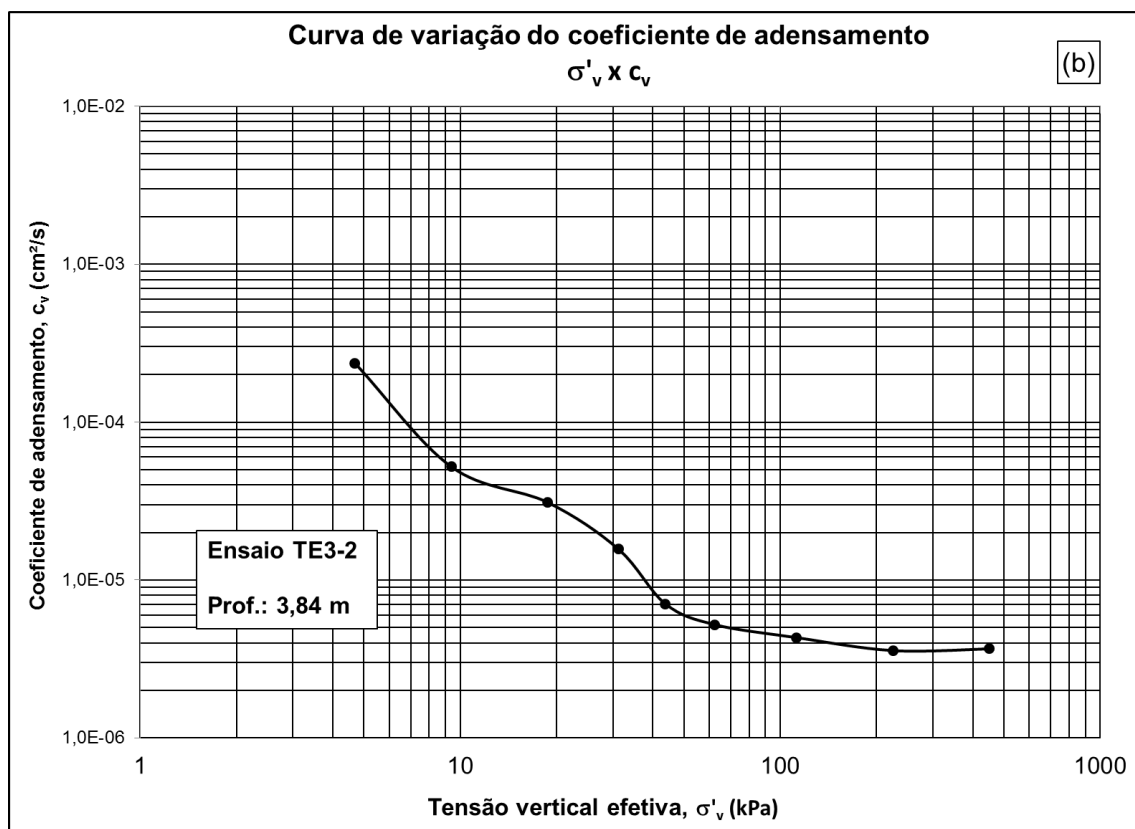
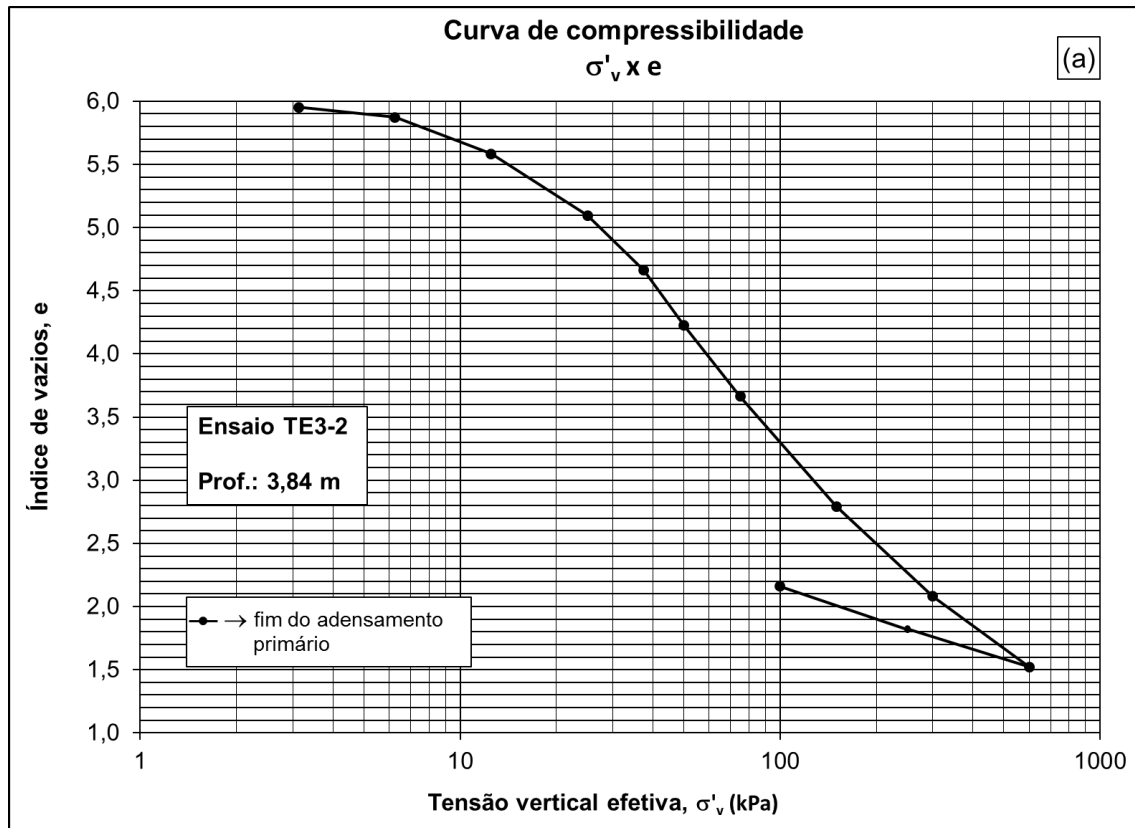


Figura 5.17 – Curva de compressibilidade e variação do coeficiente de adensamento TE3-2

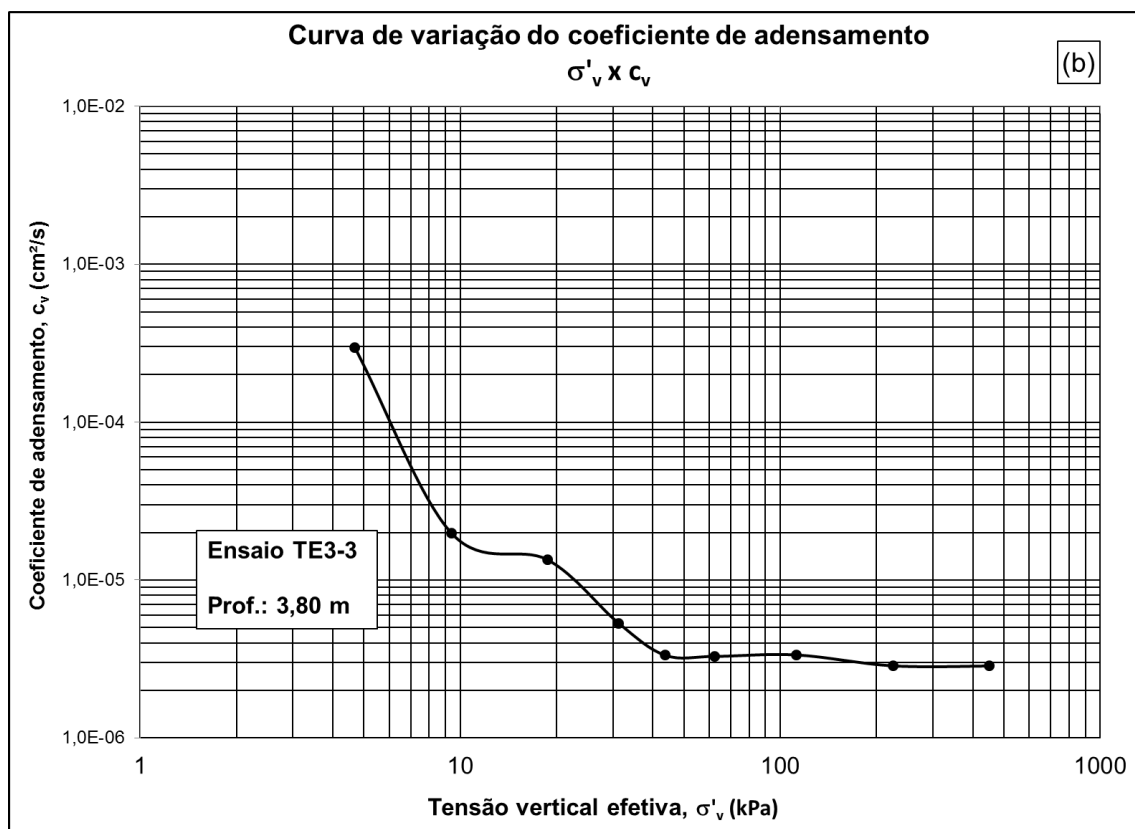
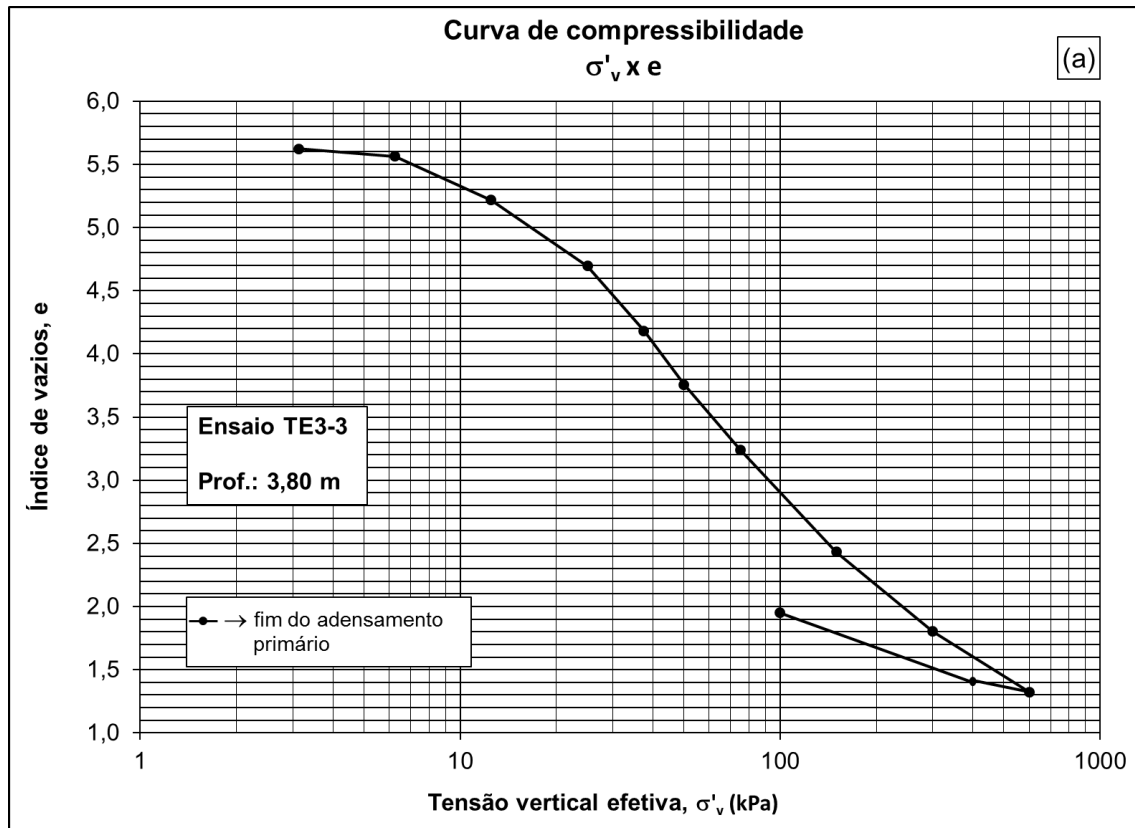


Figura 5.18 – Curva de compressibilidade e variação do coeficiente de adensamento TE3-3

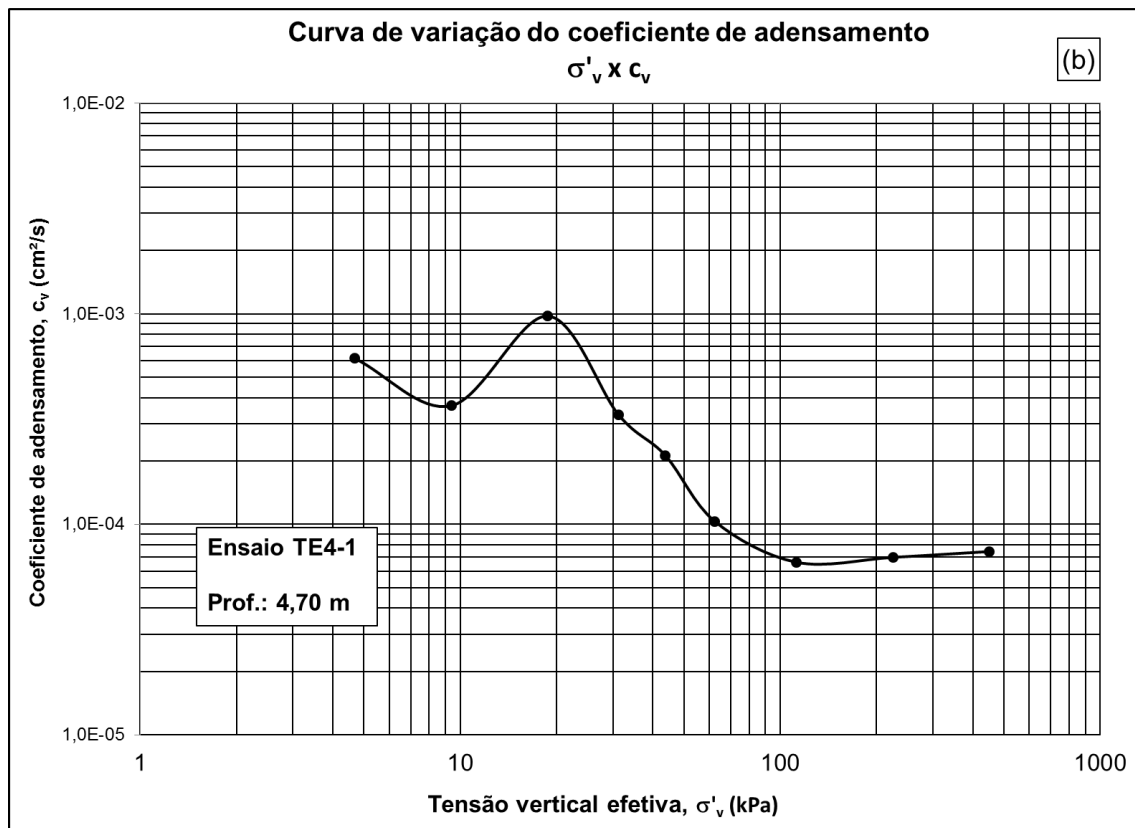
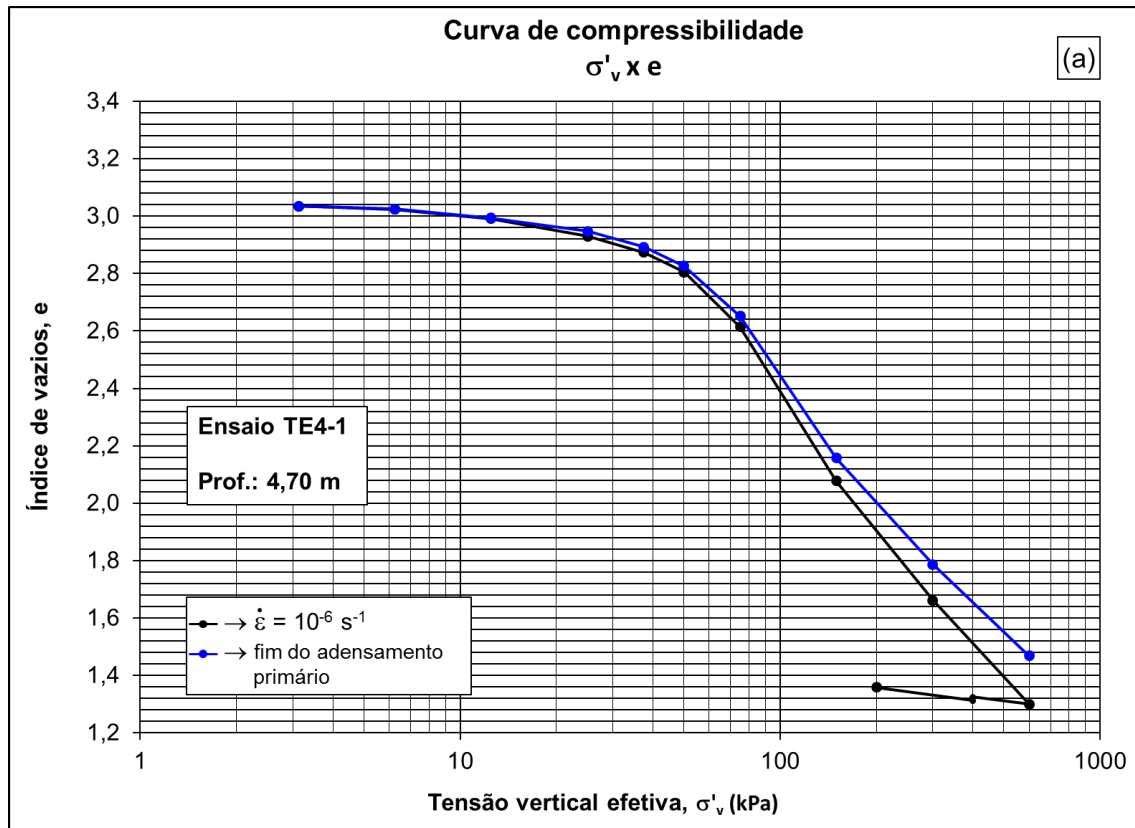


Figura 5.19 – Curva de compressibilidade e variação do coeficiente de adensamento TE4-1

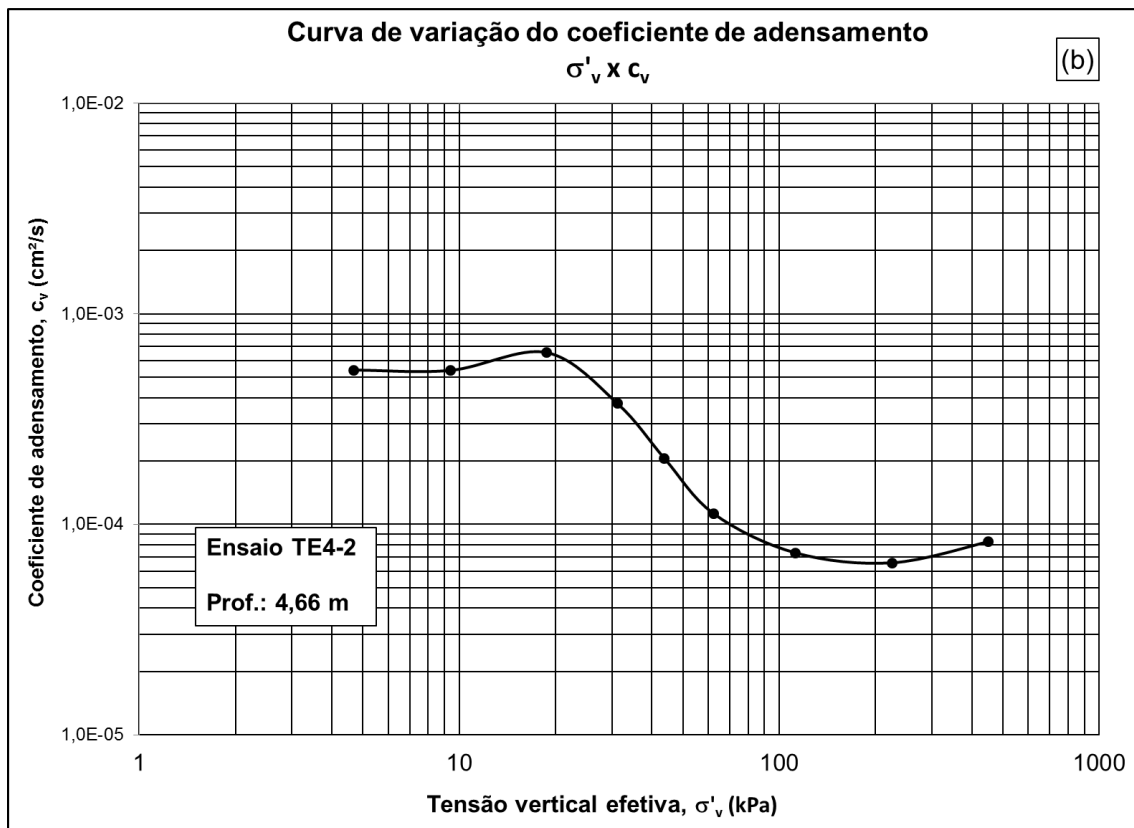
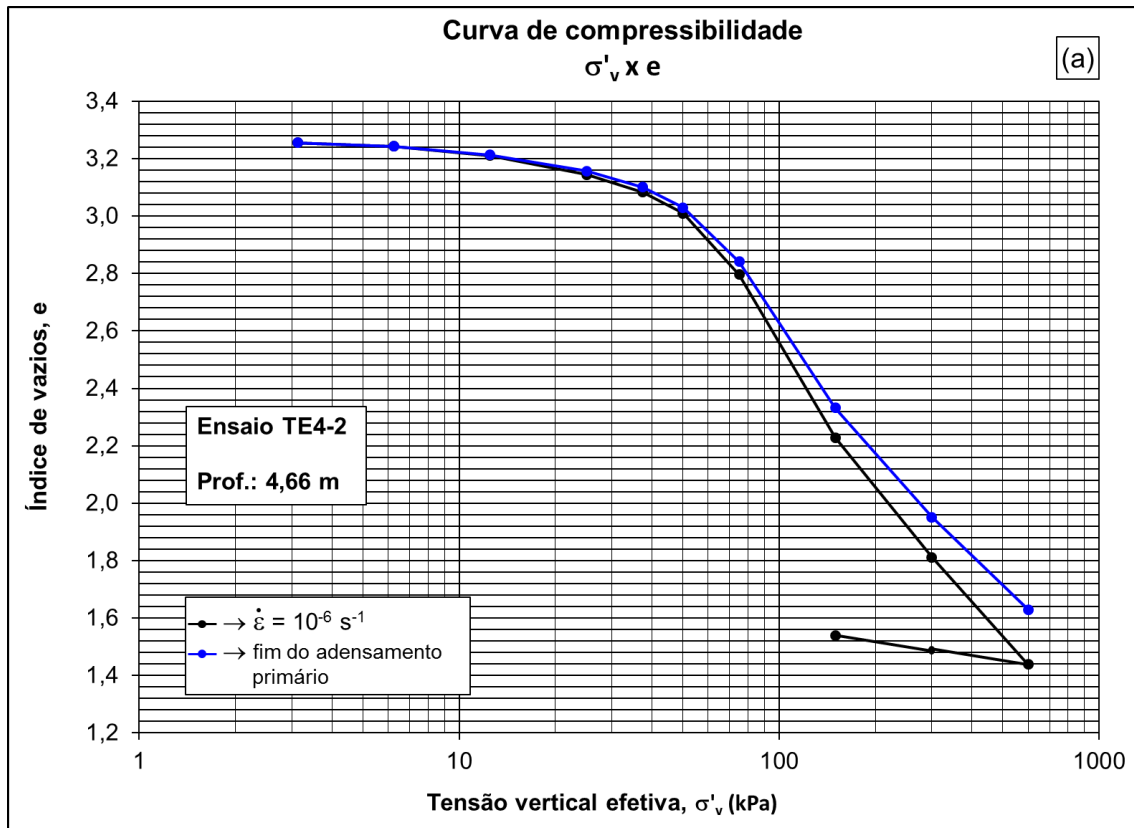


Figura 5.20 – Curva de compressibilidade e variação do coeficiente de adensamento TE4-2

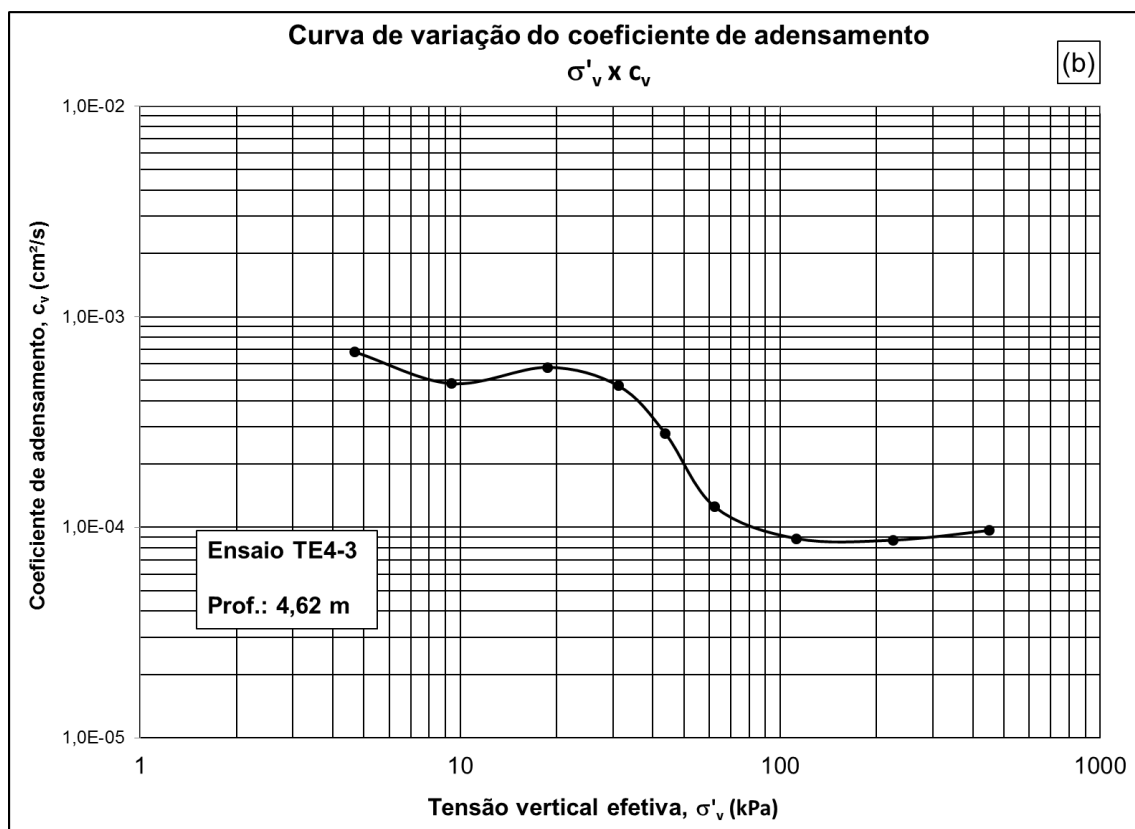
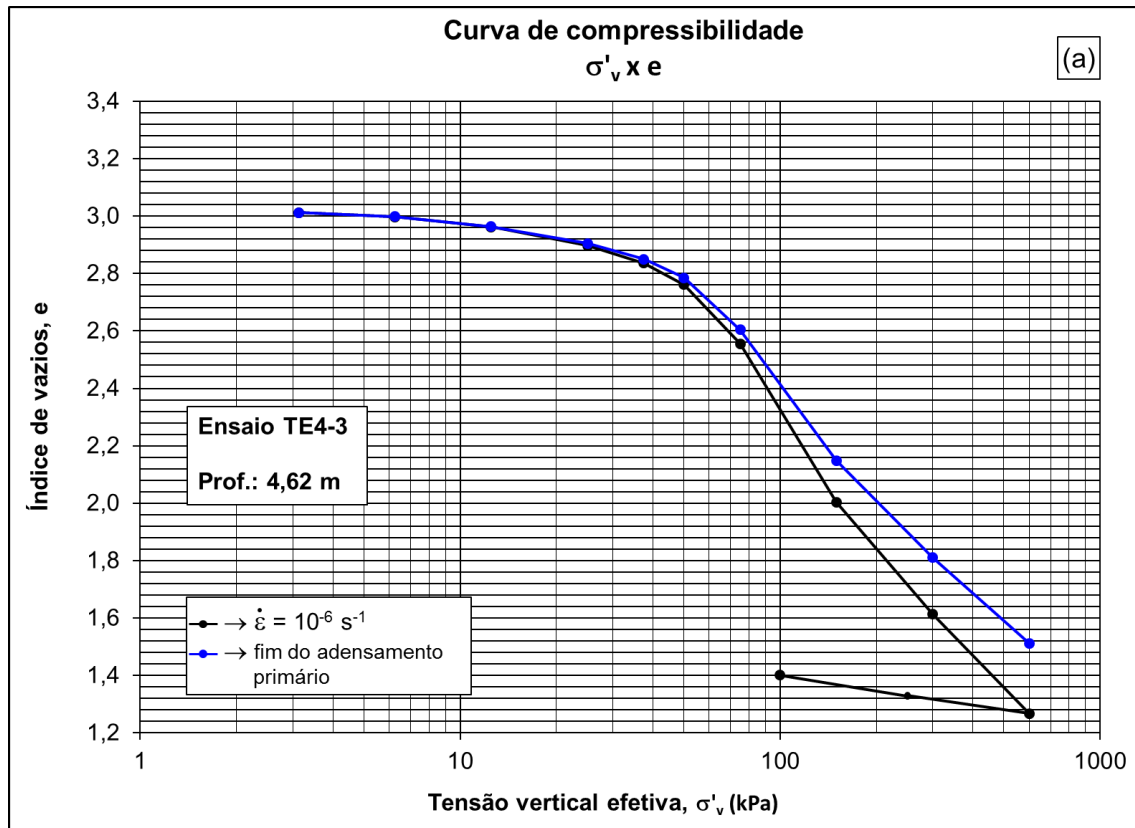


Figura 5.21 – Curva de compressibilidade e variação do coeficiente de adensamento TE4-3

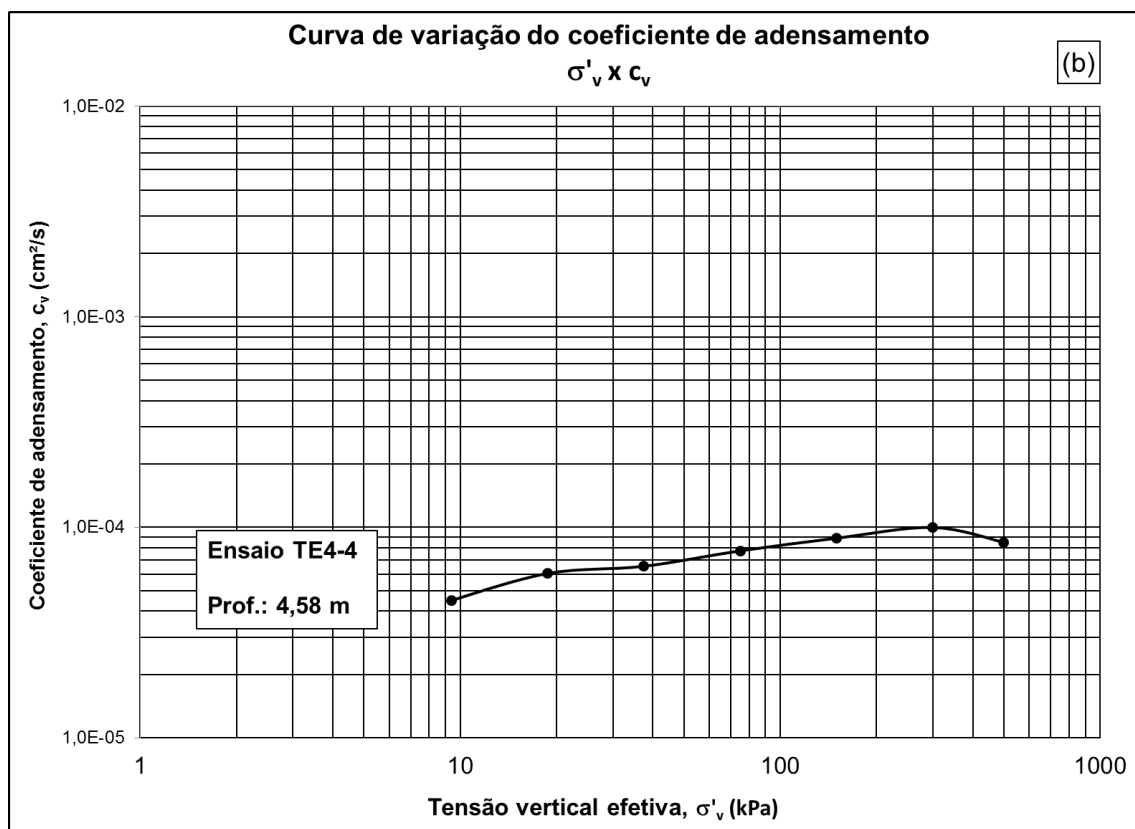
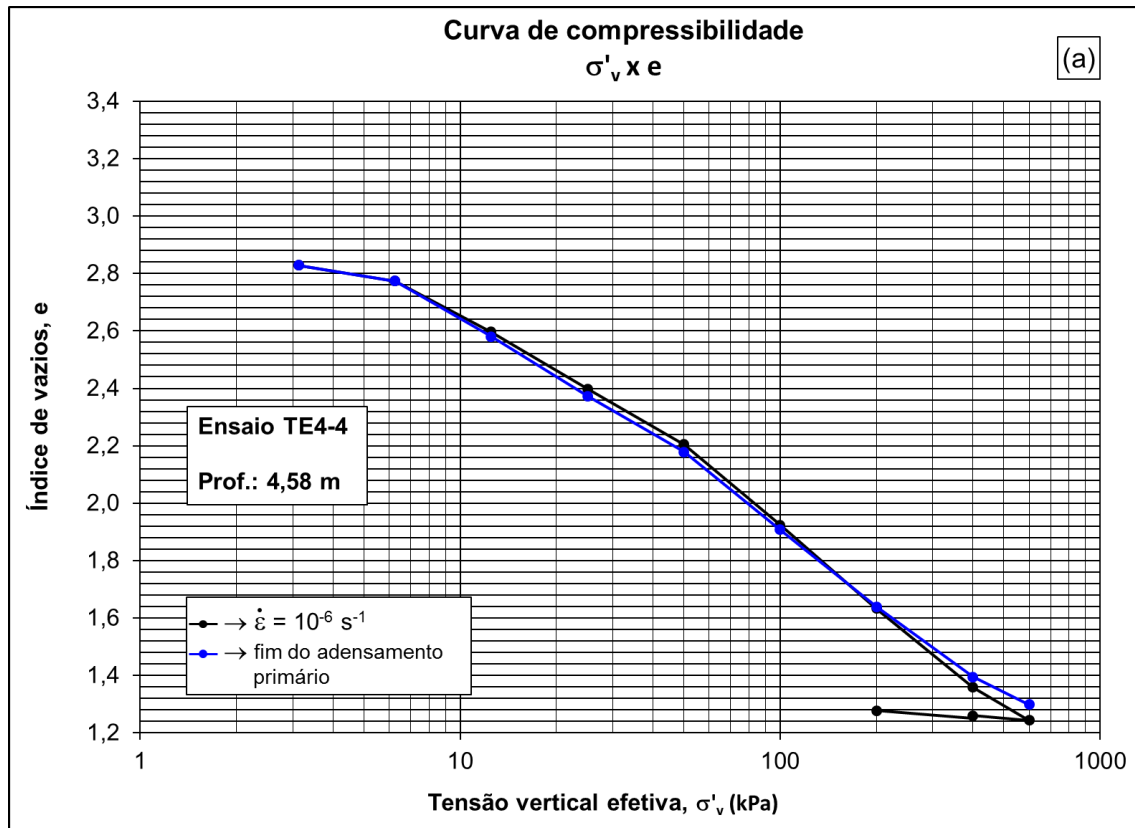


Figura 5.22 – Curva de compressibilidade e variação do coeficiente de adensamento TE4-4 (amostra intencionalmente amolgada)

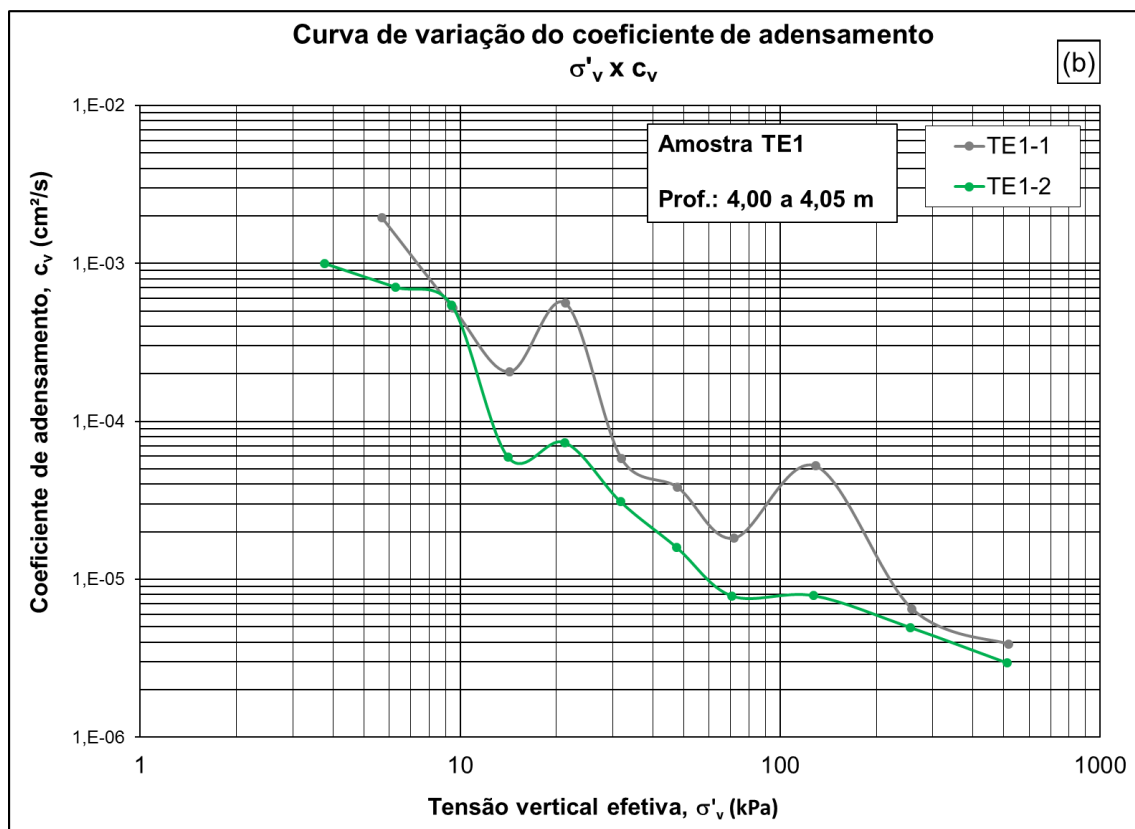
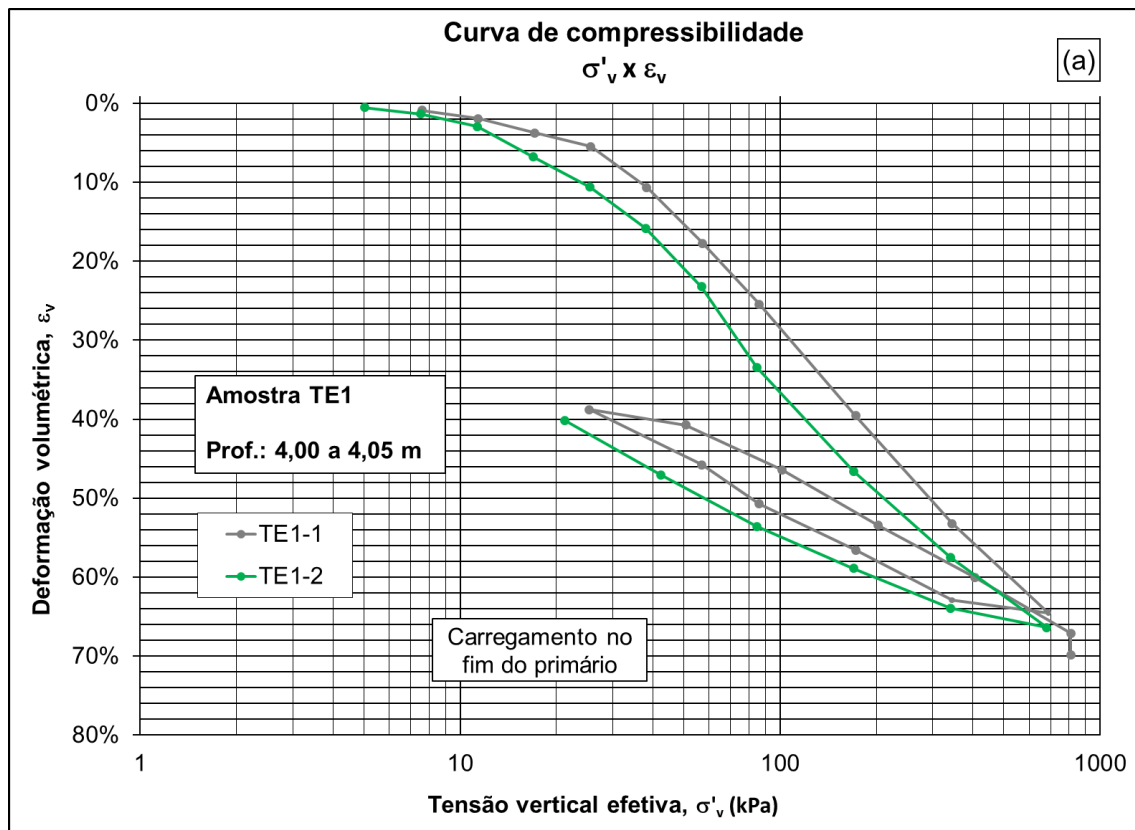


Figura 5.23 – Comparação entre os ensaios da amostra TE1

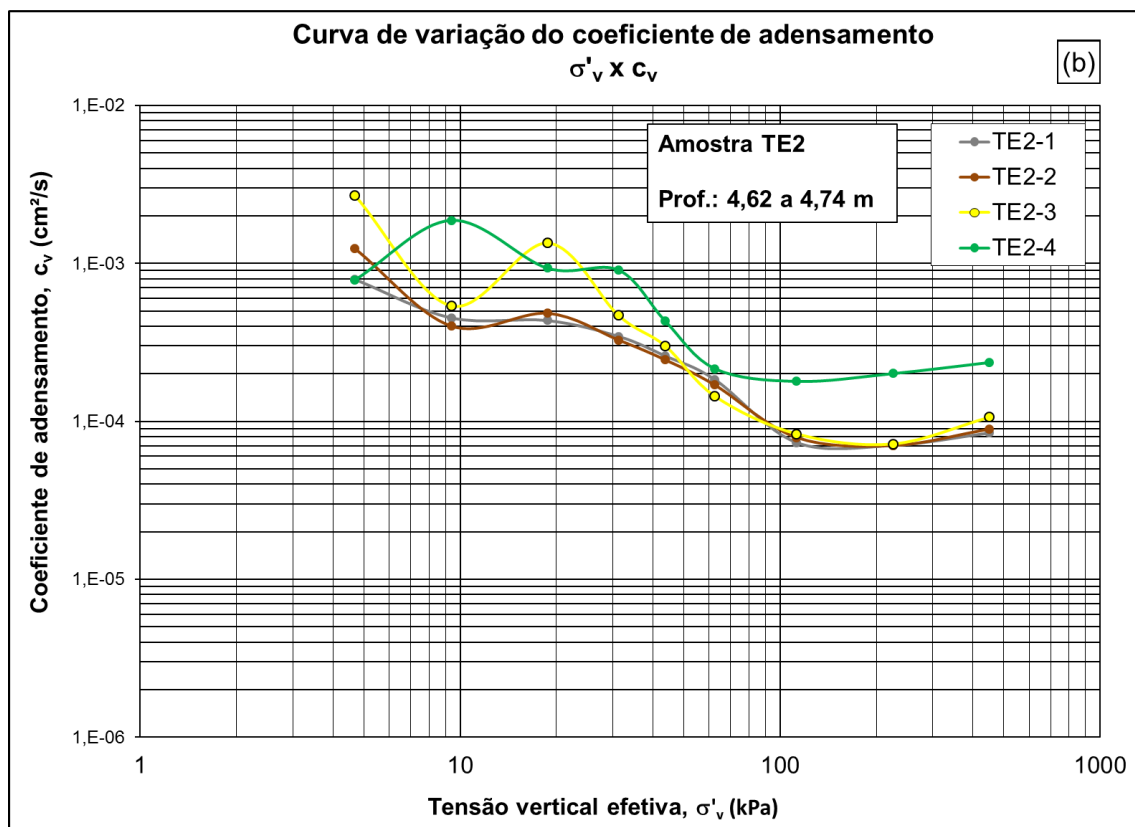
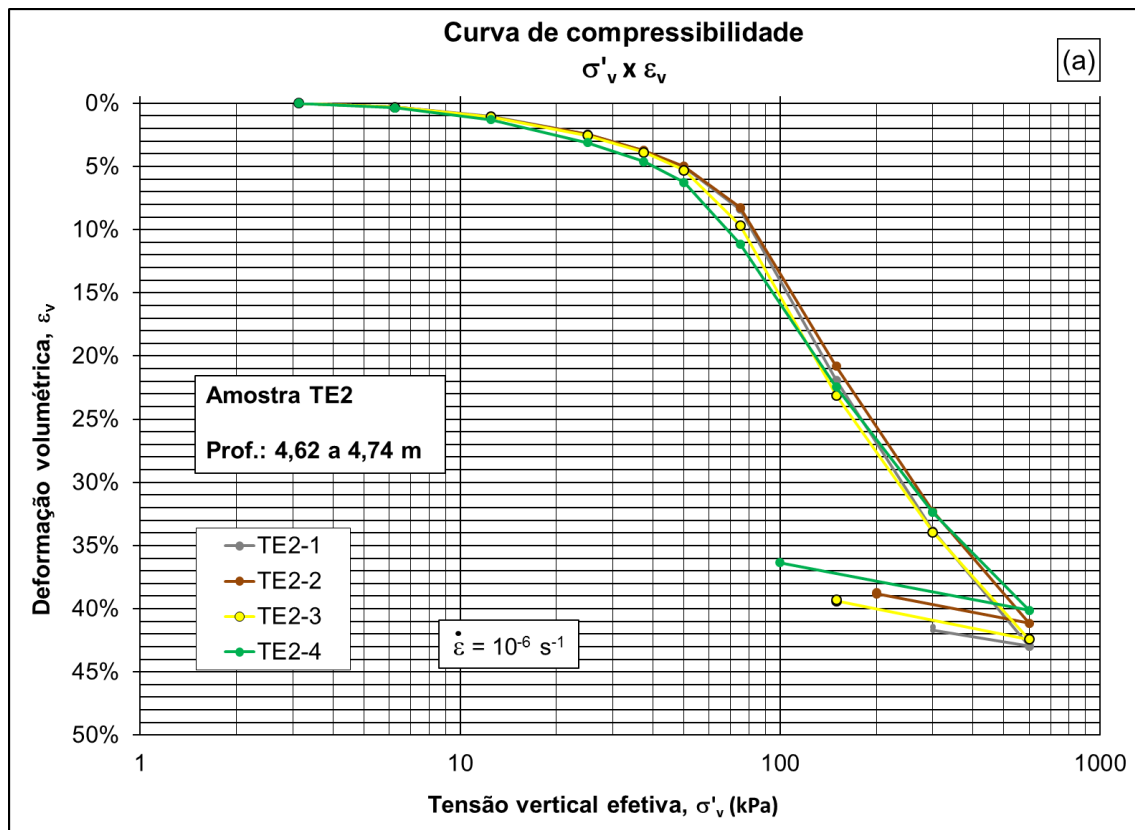


Figura 5.24 – Comparação entre os ensaios da amostra TE2

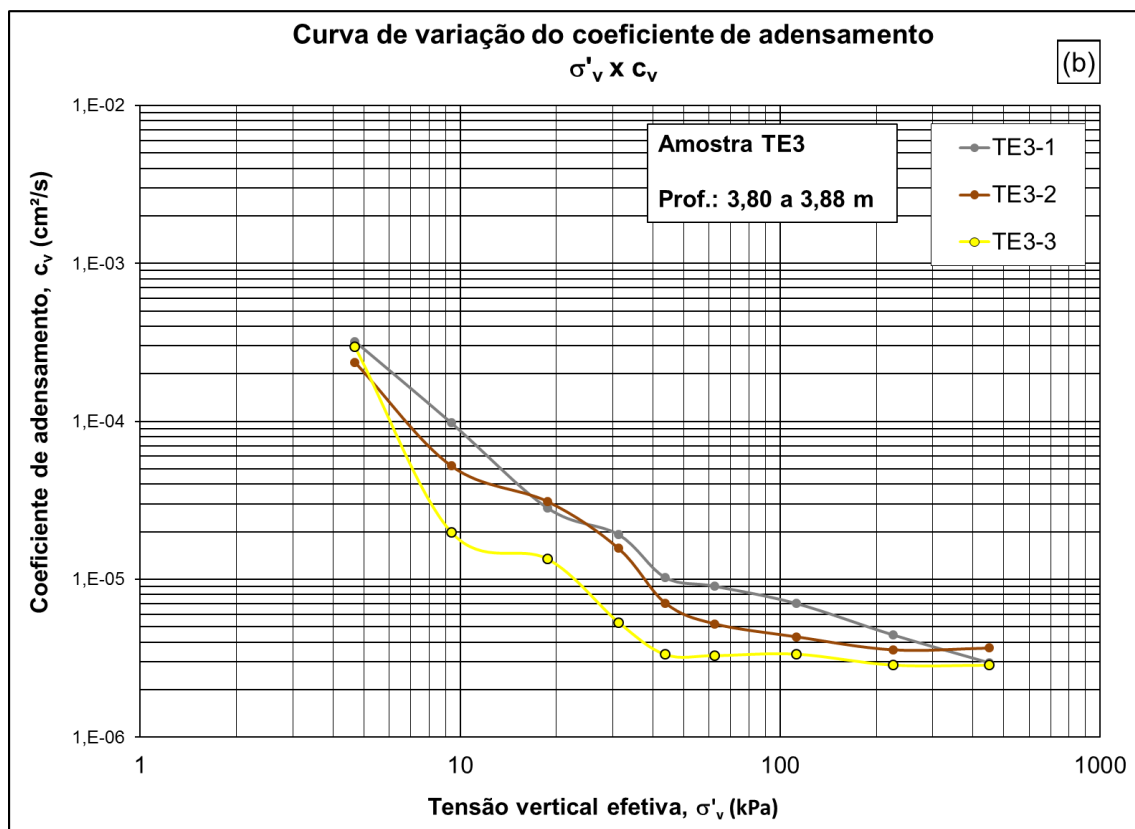
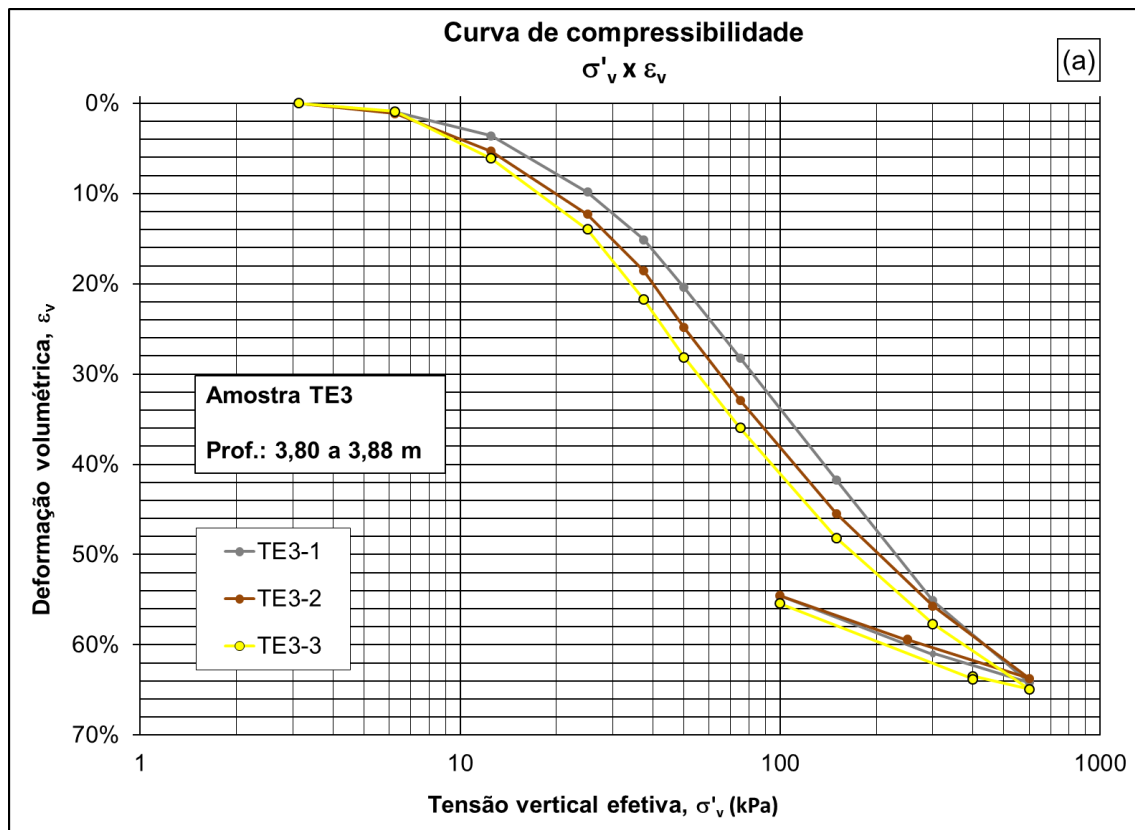


Figura 5.25 – Comparação entre os ensaios da amostra TE3

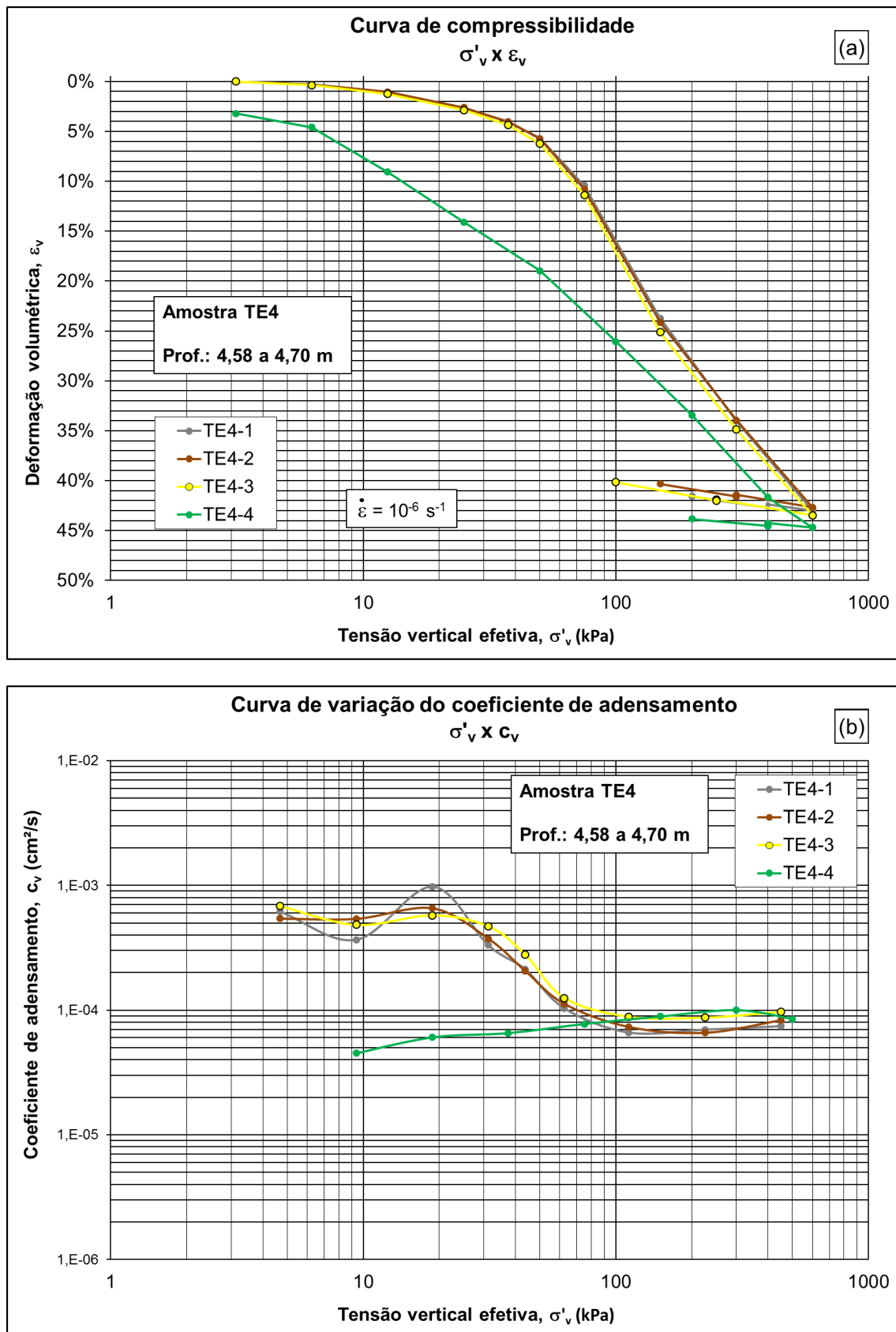


Figura 5.26 – Comparação entre os ensaios da amostra TE4

Tabela 5.3 – Resumo dos parâmetros obtidos no ensaio de adensamento

Amostra	Profundidade de coleta (m)	Corpo de prova	Profundidade do CP (m)	e_0	σ'_{w_0} (kPa)	σ'_p (kPa)	OCR	C_r	C_c	C_e	$\frac{C_c}{1+e_0}$	$\frac{C_r}{C_c}$
TE 1	3,60 a 4,20	TE1-1	4,05	4,68	36,1	31,2	0,86	0,36	2,57	1,29	0,45	0,14
		TE1-2	4,00	5,87	35,9	34,2	0,95	0,42	4,09	1,81	0,59	0,10
TE 2	4,40 a 5,00	TE2-1	4,86	3,41	39,2	62,8	1,60	0,18	1,78	0,12	0,40	0,10
		TE2-2	4,82	3,01	39,1	61,9	1,58	0,16	1,97	0,18	0,49	0,08
		TE2-3	4,78	3,26	38,9	57,9	1,49	0,17	1,83	0,17	0,43	0,09
		TE2-4	4,74	3,01	38,8	50,0	1,29	0,17	1,51	0,19	0,38	0,11
TE 3	3,40 a 4,00	TE3-1	3,88	5,29	35,7	25,3	0,71	0,38	2,82	0,69	0,45	0,13
		TE3-2	3,84	5,95	35,7	21,5	0,60	0,61	3,32	0,80	0,48	0,18
		TE3-3	3,80	5,62	35,6	20,0	0,56	0,67	3,39	0,71	0,51	0,20
TE 4	4,20 a 4,80	TE4-1	4,70	3,04	38,6	56,4	1,46	0,18	1,78	0,12	0,44	0,10
		TE4-2	4,66	3,26	38,5	56,5	1,47	0,16	1,97	0,18	0,46	0,08
		TE4-3	4,62	3,01	38,3	54,9	1,43	0,17	1,83	0,17	0,46	0,09
		TE4-4*	4,58	2,96	38,2	16,2	0,42	0,18	0,97	0,05	0,24	0,19

5.3.6

Resultados dos ensaios de longa duração

Com a finalidade de se identificar a posição da linha de fim de secundário (linha para a qual a velocidade de deformação é nula), após a obtenção das curvas de compressão através dos ensaios convencionais foram realizados descarregamentos com diferentes valores de OCR nos corpos de prova das amostras TE-2, TE-3 e TE-4, seguido o procedimento de Feijó & Martins (1993).

A duração dos ensaios também variou, conforme tabela 5.2, principalmente de modo a se adequar à disponibilidade para uso do Laboratório de Reologia da COPPE/UFRJ. Mesmo nos casos onde o período de observação foi menor as conclusões não ficaram prejudicadas.

As figuras 5.27 a 5.37 apresentam cada curva de adensamento do último estágio de carregamento seguida pelo estágio de descarregamento que foi acompanhado por longa duração. As figuras 5.38 a 5.40 comparam em um mesmo gráfico as expansões volumétricas de cada corpo de prova da mesma bateria, sendo possível observar a diferença de comportamento quando se varia o OCR de descarregamento.

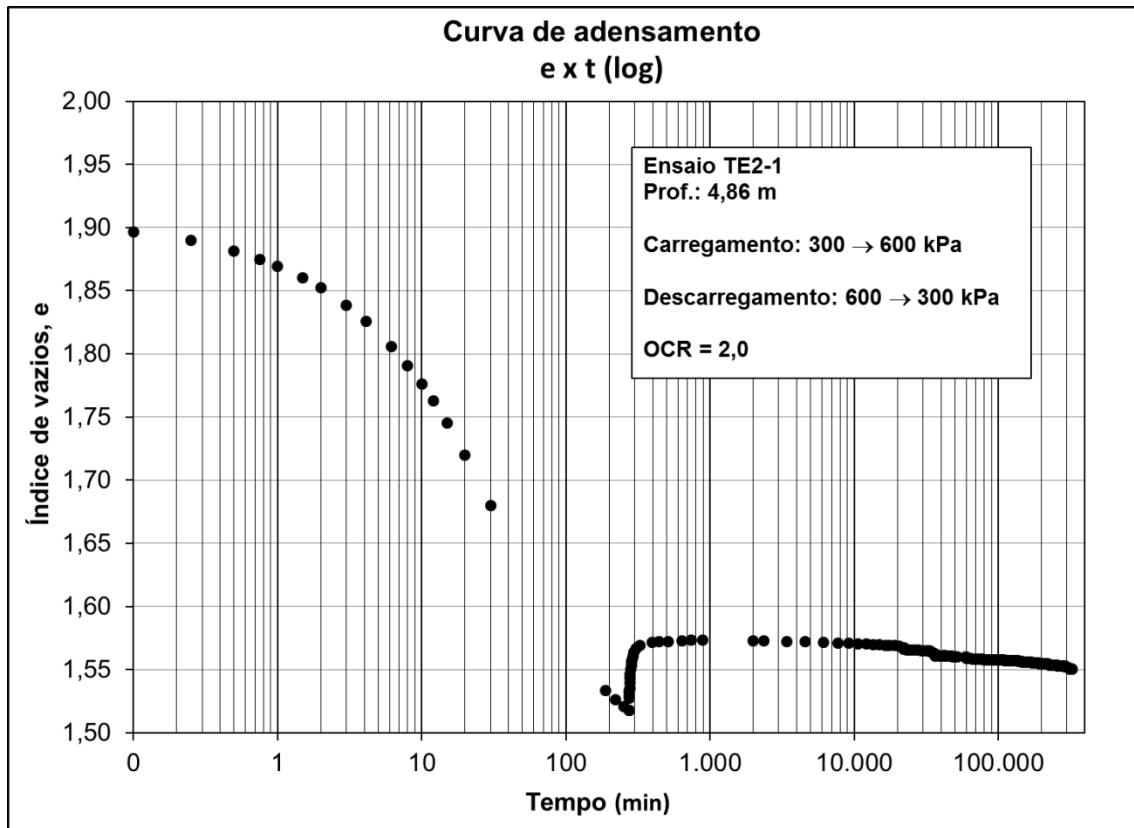


Figura 5.27 – Ensaio oedométrico com estágio de descarregamento

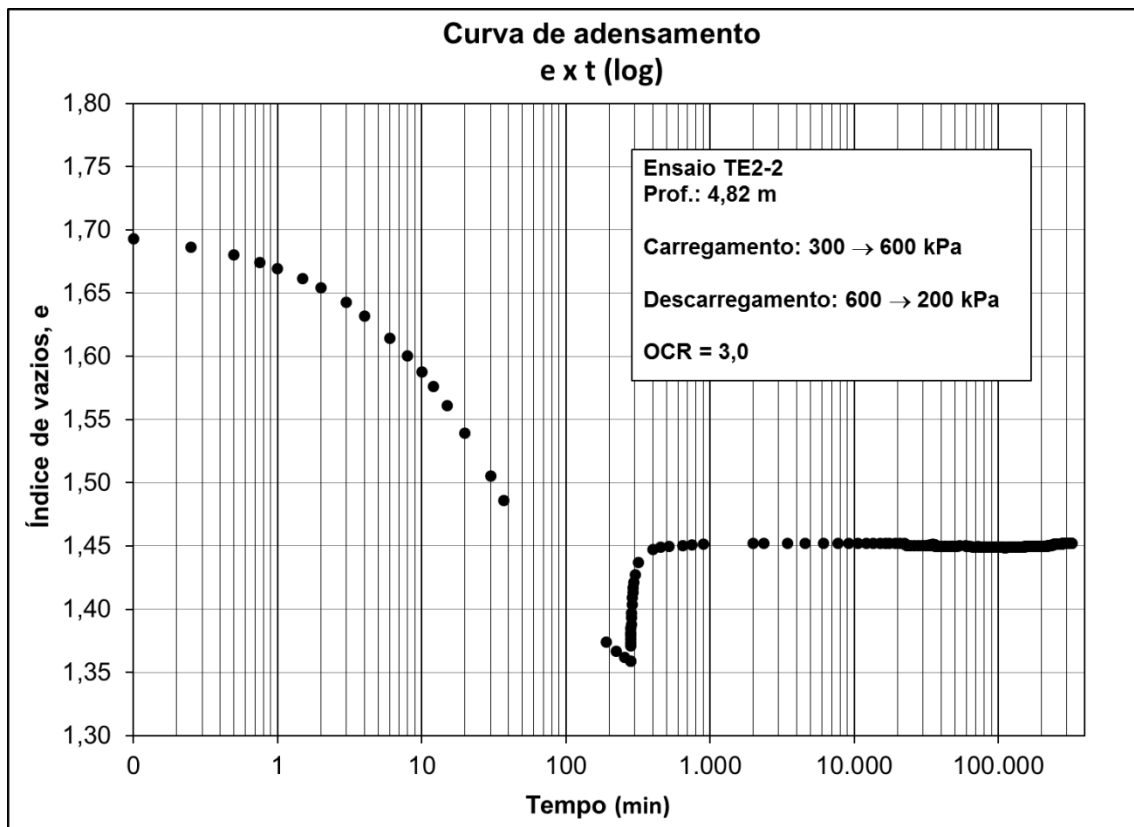


Figura 5.28 – Ensaio oedométrico com estágio de descarregamento

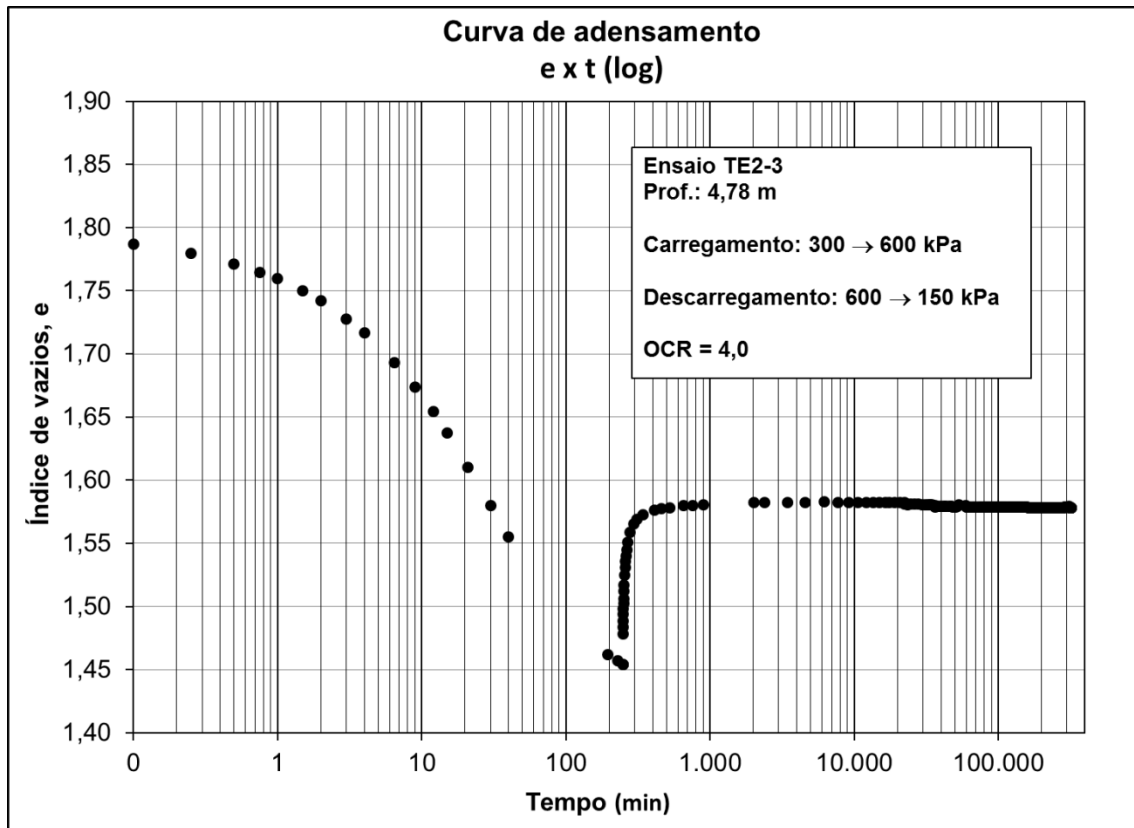


Figura 5.29 – Ensaio oedométrico com estágio de descarregamento

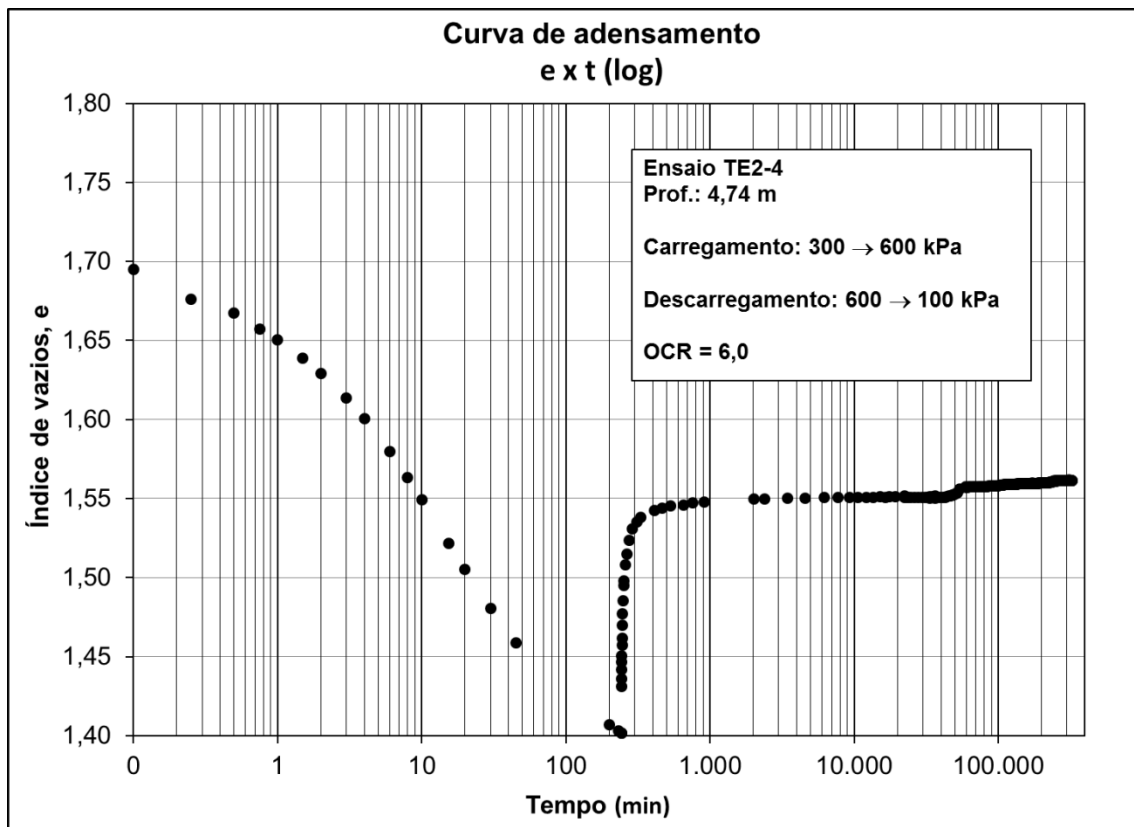


Figura 5.30 – Ensaio oedométrico com estágio de descarregamento

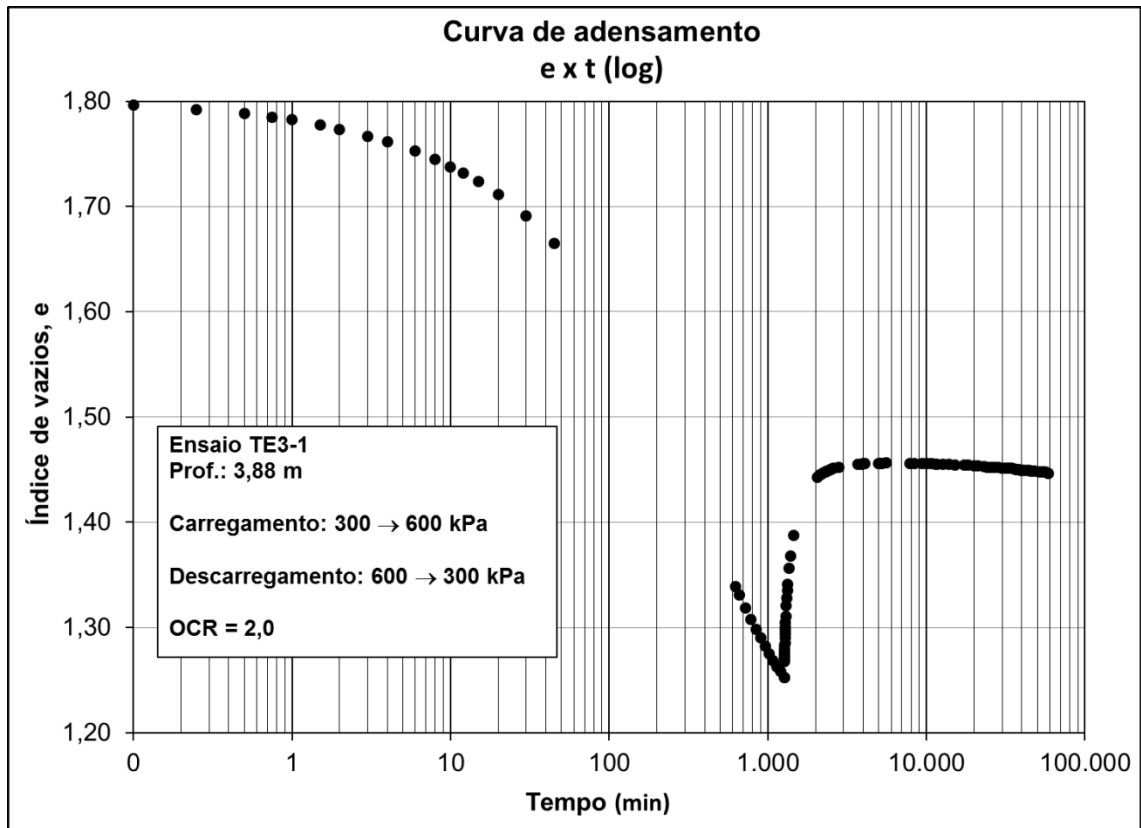


Figura 5.31 – Ensaio oedométrico com estágio de descarregamento

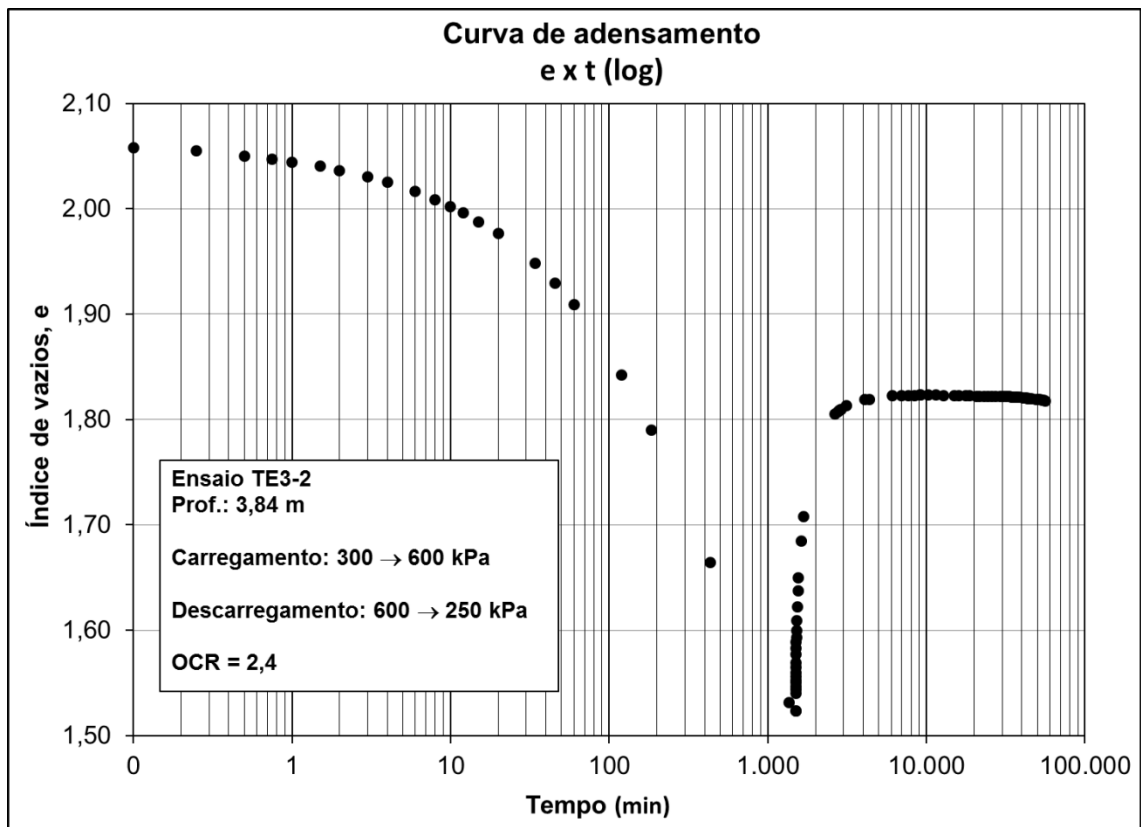


Figura 5.32 – Ensaio oedométrico com estágio de descarregamento

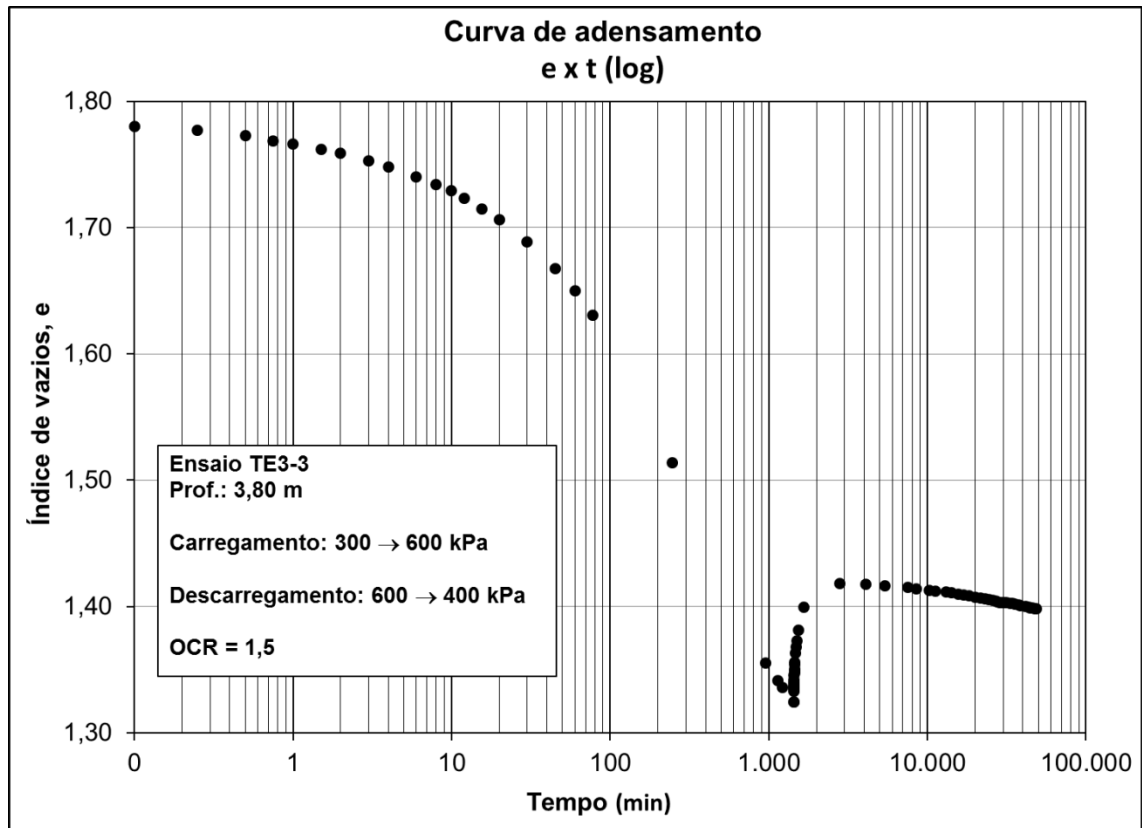


Figura 5.33 – Ensaio oedométrico com estágio de descarregamento

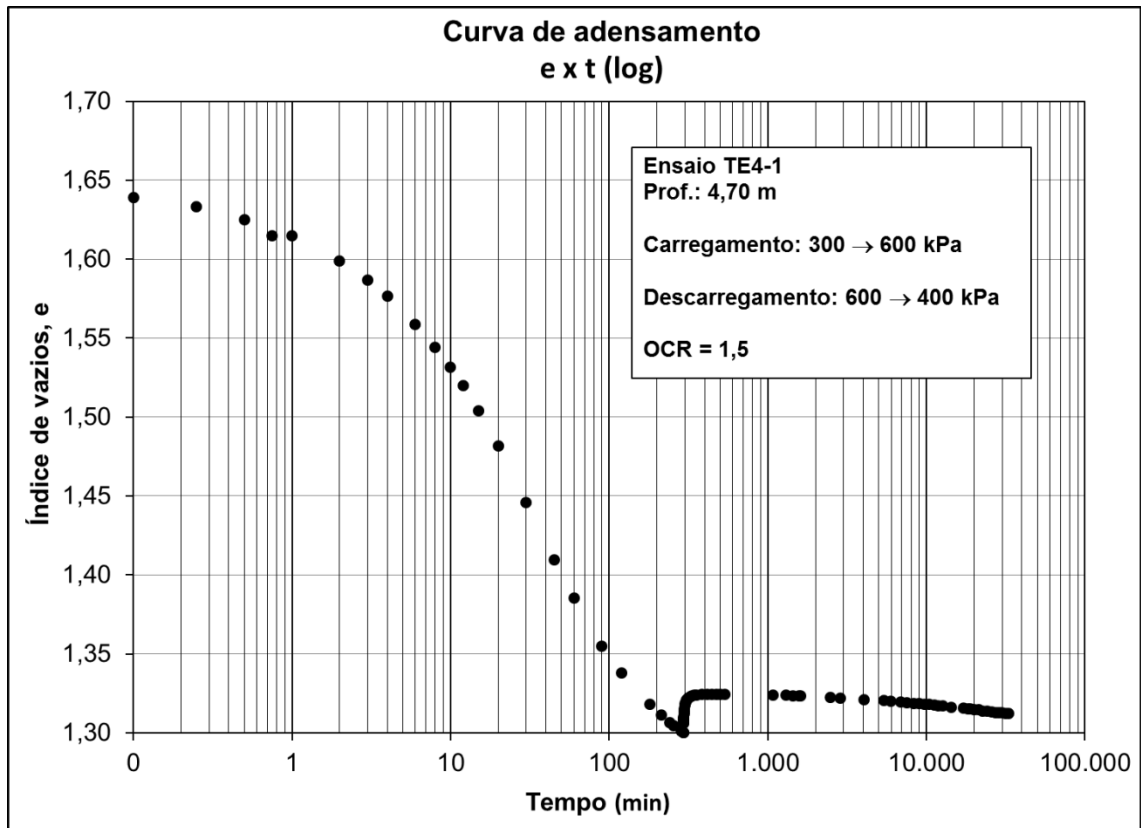


Figura 5.34 – Ensaio oedométrico com estágio de descarregamento

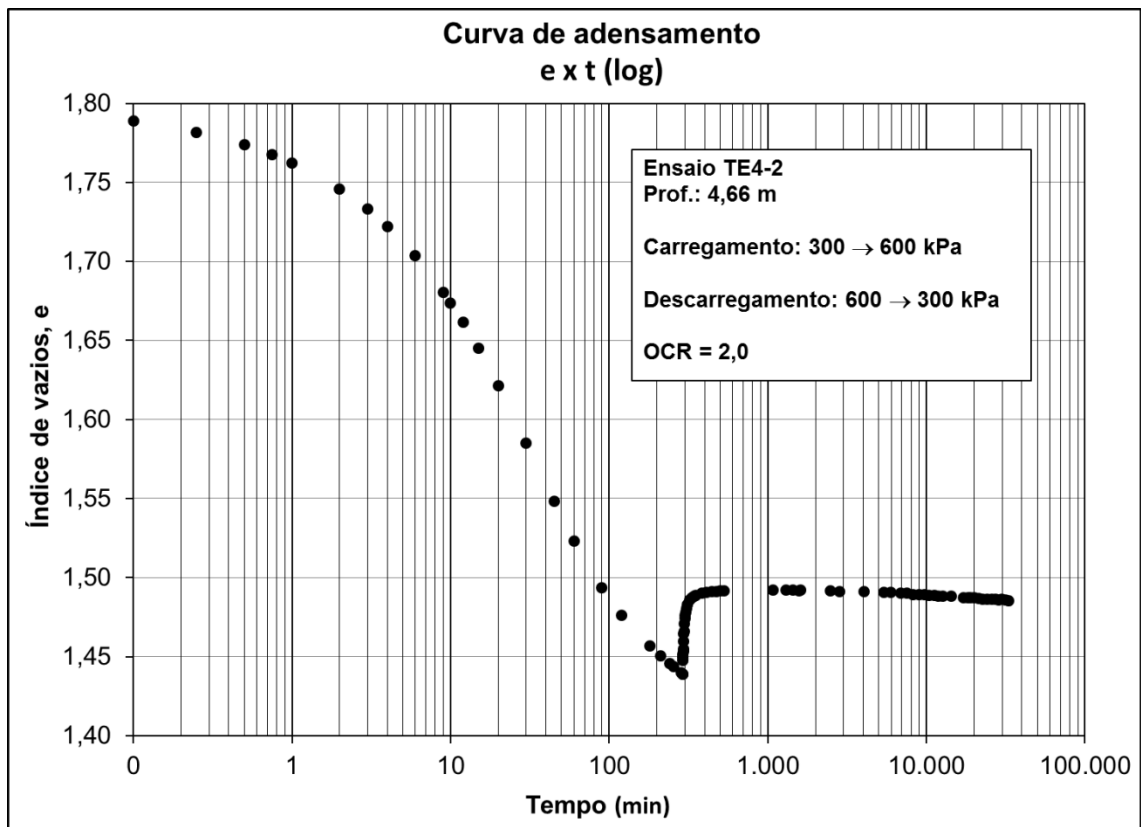


Figura 5.35 – Ensaio oedométrico com estágio de descarregamento

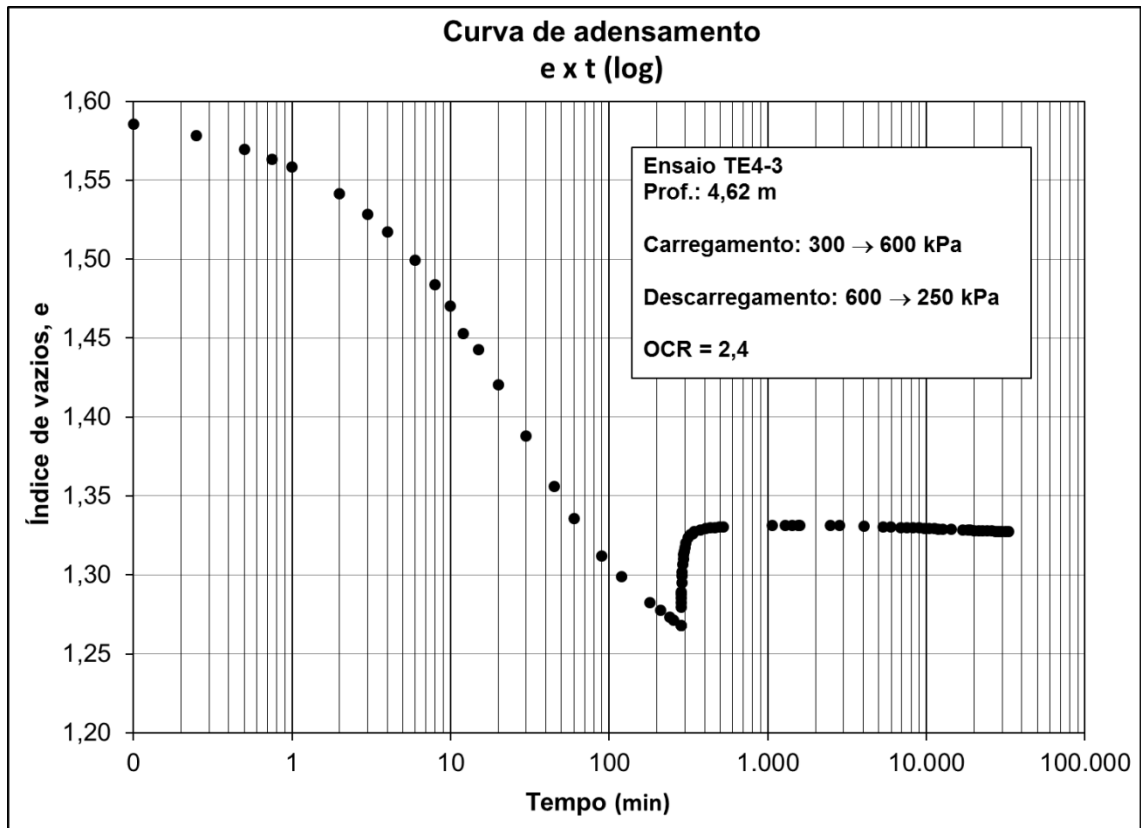


Figura 5.36 – Ensaio oedométrico com estágio de descarregamento

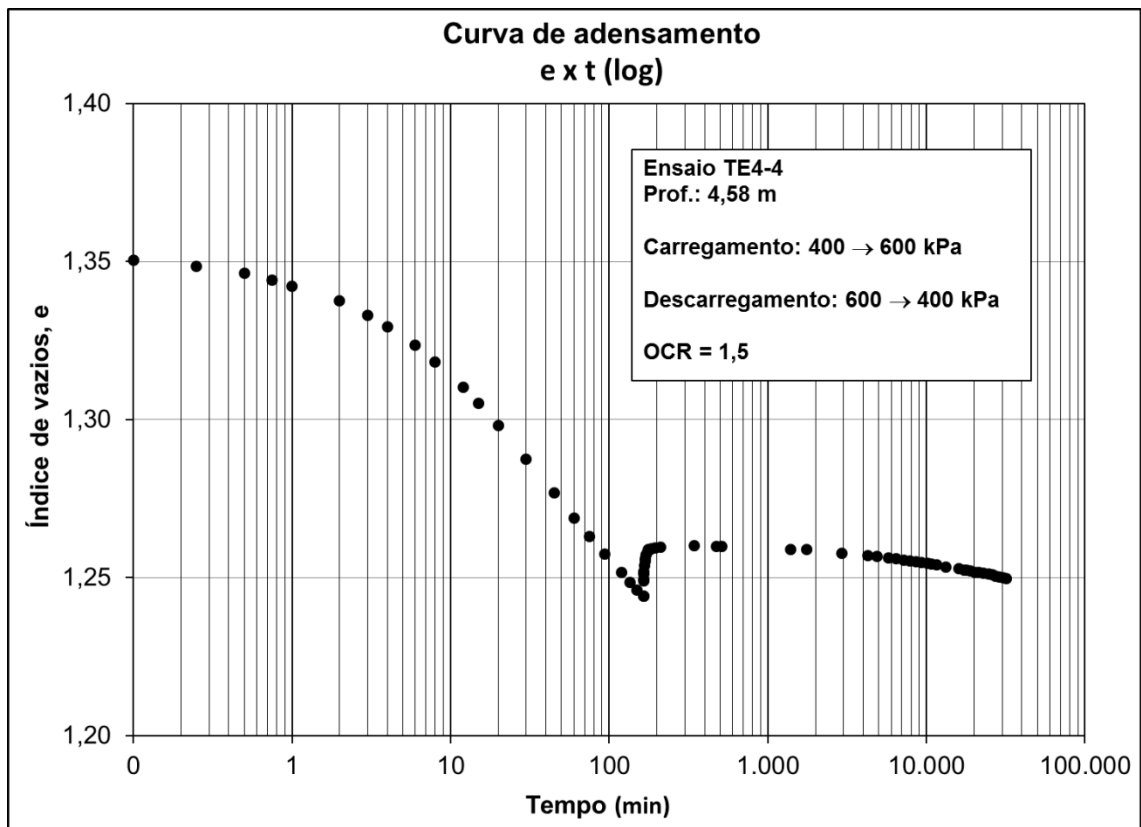


Figura 5.37 – Ensaio oedométrico com estágio de descarregamento

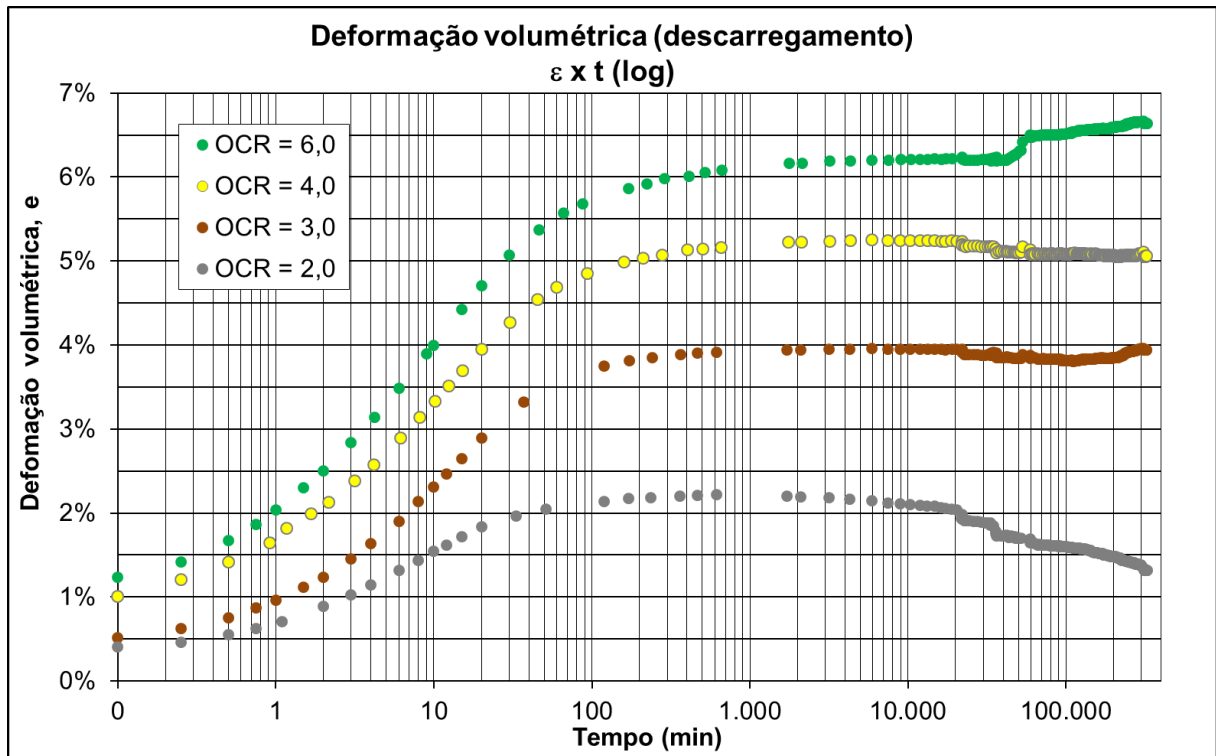


Figura 5.38 – Comparação entre o comportamento no descarregamento de amostras de TE-2

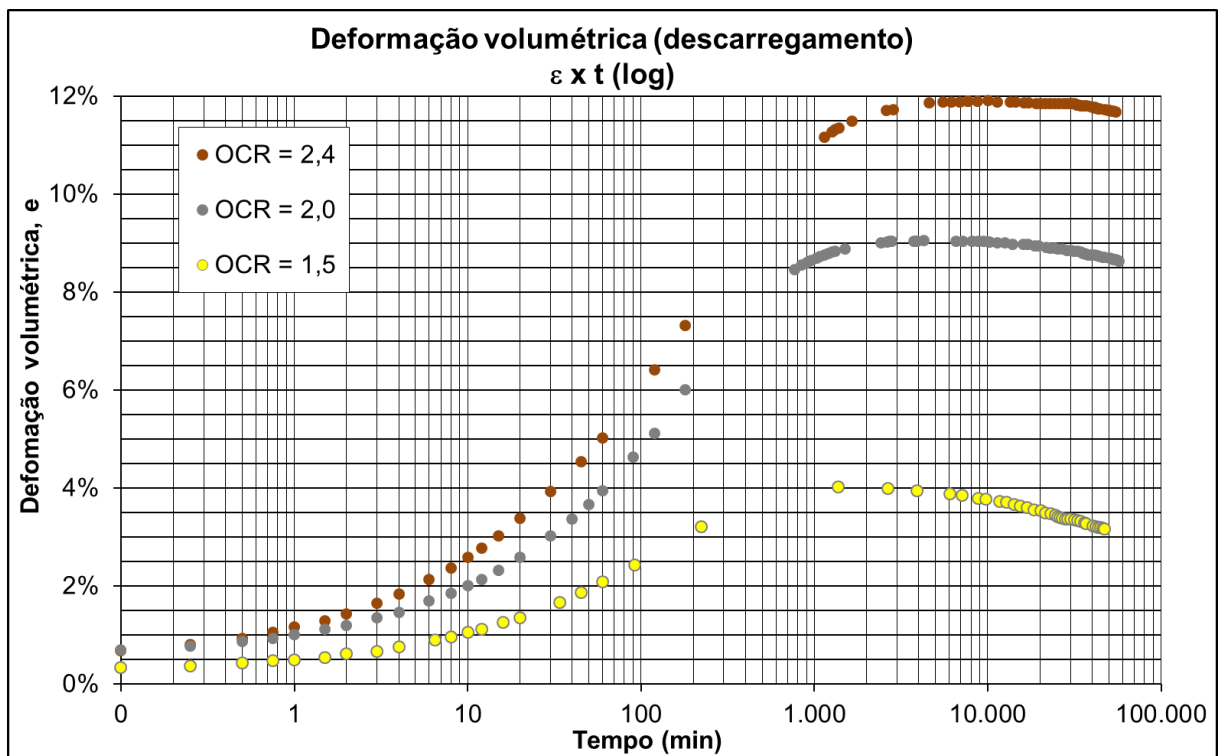


Figura 5.39 – Comparação entre o comportamento no descarregamento de amostras de TE-3

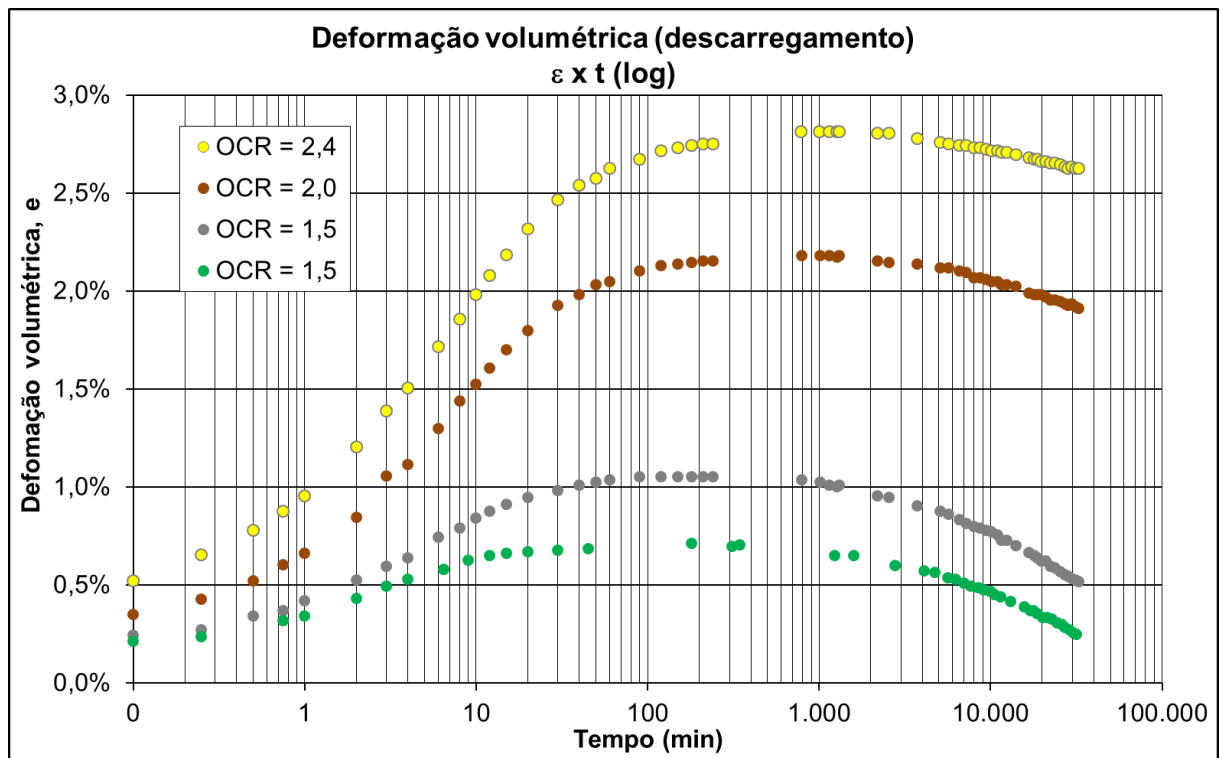


Figura 5.40 – Comparação entre o comportamento no descarregamento de amostras de TE-4

Segundo Martins et al. (1997), após o descarregamento e a expansão primária subsequente, existe uma faixa de OCR para a qual o corpo de prova não continua expandindo nem volta a comprimir. Essa região foi chamada de zona de equilíbrio indiferente, e está associada a um OCR de descarregamento entre 2,0 e 6,0, para a argila do Sarapuí. Analisando esses resultados, concluíram que para um OCR aproximadamente igual a 2,0 a compressão secundária parece parar, sendo a paralela à linha de fim do primário que passa por ali chamada de linha de fim de compressão secundária.

Daí conclui-se que, se para determinado OCR de descarregamento o corpo de prova voltou a experimentar compressão após a expansão primária, o OCR que pode ser associado à linha de fim de secundário é maior do que o OCR gerado. Analisando as figuras anteriores, pode-se montar a tabela 5.4, mostrando em qual região estaria o OCR de fim de secundário (OCR_{sf}) para cada solo ensaiado.

Tabela 5.4 – OCR_{sf} obtidos

Amostra	Tipo de solo	OCR_{sf}
TE 3	Turfoso	maior do que 2,4
TE 2	Argiloso	entre 2,0 e 3,0
TE 4	Argiloso	maior do que 2,4

5.4

Ensaio mineralógico e químico

Com o objetivo de melhor entender o material em estudo e verificar se os excessivos recalques pós-construtivos poderiam ser atribuídos a alguma característica que escapasse aos ensaios convencionais, foram realizados os ensaios descritos a seguir.

5.4.1

Análise mineralógica – difração de raios-X

Conforme apontado por Mitchell & Soga (2005), a técnica de difração de raios-X é uma poderosa ferramenta para o estudo de partículas muito pequenas, sendo particularmente adequada para a identificação de argilominerais pois a distância interplanar basal é característica para cada grupo. O interesse desse ensaio no presente trabalho foi verificar a presença de argilomineirais do grupo das esmectitas, que tendem a aumentar significativamente a plasticidade e o comportamento dependente do tempo (compressão secundária).

Detalhes sobre a teoria que embasa o procedimento e os métodos de ensaio são descritos em Santos (1975), Mitchell e Soga (2005) e Amorim (2007).

Os ensaios foram feitos com lâminas orientadas, cuja preparação foi feita a partir de uma amostra de solo passante na peneira #40 (0,42 mm) dispersada em água destilada. Com o auxílio de uma pipeta, foi tomada uma porção desta dispersão e o material foi gotejado sobre a lâmina, que permaneceu secando por 24 horas em um dessecador. Após isso, a lâmina foi levada ao difratômetro. Os resultados obtidos são mostrados nas figuras 5.41 e 5.42.

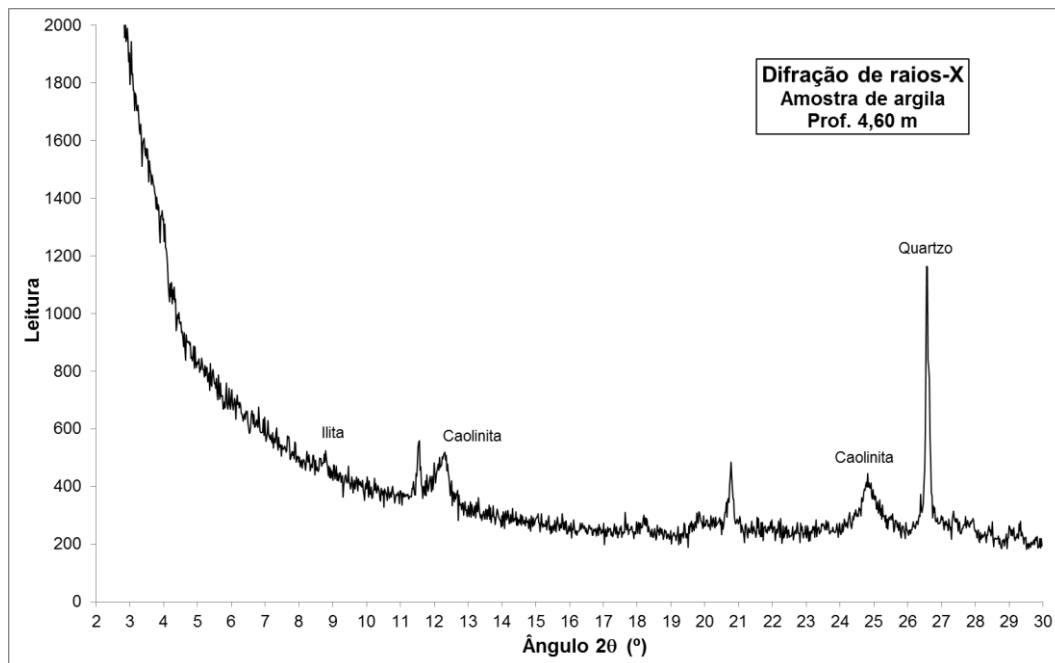


Figura 5.41 – Difratoograma de amostra de solo argiloso

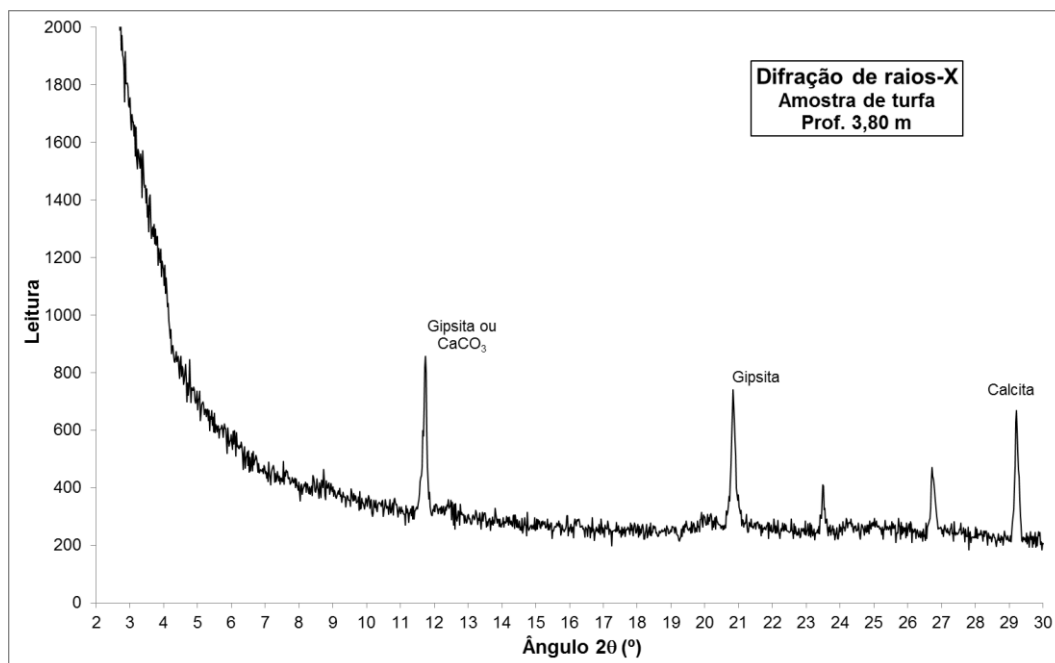


Figura 5.42 – Difratoograma de amostra de solo turfoso

Os resultados dos ensaios não acusaram a presença de argilominerais do grupo das esmectitas, situação que poderia explicar a compressão secundária pronunciada que vem sendo observada no aterro em estudo.

5.4.2

Caracterização da água

O principal objetivo dessa caracterização é quantificar o teor médio de sais solúveis. A água presente no subsolo do terreno, que satura os solos moles em estudo no presente trabalho, foi coletada em um poço de monitoramento, conforme descrito no capítulo 4. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Caracterização de Águas, do Departamento de Química da PUC-Rio, e por orientação do técnico responsável, em cada profundidade que se desejava a caracterização foram coletadas duas amostras, sendo uma colocada diretamente dentro de um frasco esterilizado (âmbar) e outra misturada com ácido nítrico, para melhor conservar a amostra entre seu transporte do campo para o laboratório. Essa etapa foi cumprida, embora as amostras tenham sido entregues ao laboratório poucas horas após sua coleta em campo.

A coleta foi realizada em duas profundidades diferentes: aos 3,50 metros, profundidade estimada como sendo o centro da camada turfosa, e aos 4,50 metros, centro da camada argilosa. Como parte da água coletada foi empregada para a inundação das bacias de adensamento e não se desejava armazenar a água por período prolongado para esse fim, a coleta da água na camada turfosa foi feita no mesmo dia da instalação do poço, sendo que a instalação ocorreu na parte da manhã e a coleta se deu ao final da tarde, para permitir a decantação de sólidos que ficaram em suspensão durante a perfuração. A coleta na camada argilosa ocorreu cerca de 60 dias após, que foi o momento em que se iniciariam os ensaios de adensamento no material argiloso. Os valores obtidos são apresentados na tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Teor de sais solúveis nas amostras de água

Camada	Profundidade (m)	Sais solúveis (g/l)				
		Ca	Mg	Na	K	Total
Turfa	3,50	0,08	0,01	0,08	0,00	0,2
Argila	4,50	0,23	0,43	3,24	0,09	4,0

Conforme pode se observar, a concentração de sais solúveis variou bastante em apenas 1,0 metro de profundidade. Isso pode ser devido a dois motivos: a água mais superficial, portanto mais próxima do aterro arenoso, pode estar sofrendo influência de águas pluviais e, com isso, vem sendo diluída com o passar do tempo e tem sua concentração de sais se tornando menor; o outro motivo, é que a amostra coletada no dia da instalação do poço pode ter sofrido influência do procedimento de perfuração e, por isso, não seria representativa da água do subsolo do terreno. Neste último caso, a coleta feita após o período de 60 dias seria a correta. O autor é acredita que a segunda opção é a mais provável.

Apresenta-se a seguir, na tabela 5.6, valores de concentração de sais solúveis medidos em outros depósitos do Rio de Janeiro por Antunes (1978).

Tabela 5.6 – Teor de sais solúveis em outros depósitos de solos moles (Antunes, 1978)

Local	Profundidade (m)			Sais solúveis (g/l)				
				Ca	Mg	Na	K	Total
Rio-Petrópolis	2,00	a	2,50	0,4	0,5	3,5	0,3	4,7
	5,00	a	5,50	0,19	0,5	5,5	0,4	6,6
	9,83	a	10,33	0,3	0,6	7,2	0,4	8,5
Jardim Catarina	3,60	a	4,15	0,1	0,1	0,6	0,2	1,0
	5,00	a	5,55	0,1	0,1	0,9	0,2	1,3
	7,50	a	8,05	0,06	0,04	0,85	0,14	1,1
Rio-Magé	1,50	a	2,05	4,3	1,3	2	0,3	7,9
	5,00	a	5,55	0,3	0,4	3	0,21	3,9
	8,00	a	8,55	0,4	0,5	3,5	0,3	4,7
	12,10	a	12,65	0,2	0,24	2,7	0,25	3,4

Pode-se concluir, portanto, que o teor de sais solúveis obtido para o depósito de Terra Encantada não destoa dos apresentados acima. Logo, a química da água do subsolo do terreno não é um indicativo para comportamento anômalo com relação a recalques.