

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia
técnica

IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas

IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens

VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens

XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia

23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Avaliação da qualidade de amostras da Argila do Sarapuí II extraídas com amostradores tubulares de pistão estacionário Geonor/NGI 76 mm

Vitor Guerra Lopes

Mestrando, PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, vitorguerralopes@gmail.com

Vitor Nascimento Aguiar

Professor, PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, vitornaguiar@hotmail.com

Graziella Maria Faquim Jannuzzi

Professora, EP/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, jannuzzi@coc.ufrj.br

Ian Schumann Marques Martins

Professor, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, ian@coc.ufrj.br

Fernando Artur Brasil Danziger

Professor, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, danziger@coc.ufrj.br

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de amostras intactas da Argila do Sarapuí II, Duque de Caxias, RJ, extraídas com amostradores tubulares de parede fina com pistão estacionário Geonor/NGI 76 mm. Duas amostras foram extraídas entre as profundidades de 3,50 e 4,30 m, sendo que um dos tubos amostradores teve a sua superfície interna revestida com um polímero de baixo coeficiente de atrito, com o intuito de tentar reduzir as tensões cisalhantes estabelecidas entre a amostra e o tubo amostrador durante a manobra de cravação do tubo no solo e, assim, avaliar a influência dessa medida na qualidade das amostras. As qualidades das amostras foram avaliadas com base nos resultados de ensaios de adensamento edométrico de carga incremental realizados em corpos de prova moldados com diâmetros de cerca de 50 mm e de 70 mm e altura de 20 mm, o que possibilitou também a avaliação da influência do diâmetro do corpo de prova na qualidade. Todos os corpos de prova foram classificados como de qualidade “excelente a muito boa” segundo o critério de Lunne et al. (1997), não tendo sido observada influência do diâmetro do corpo de prova nos resultados. No entanto, os resultados sugerem que a aplicação do polímero na superfície interna do tubo amostrador possa ter exercido influência nas qualidades da amostra.

PALAVRAS-CHAVE: Argila Mole, Amostragem, Qualidade de Amostra, Amolgamento, Ensaio de Adensamento Edométrico.

ABSTRACT: The aim of this work is to evaluate the quality of intact Sarapuí II, Duque de Caxias, RJ, clay samples taken with thin wall, stationary piston tube samplers Geonor/NGI 76 mm. Two samples were taken from 3.50 m to 4.30 m depth. One sampler tube was coated on the inside with a low friction polymer in order to try to reduce the shearing stress between the sample and the sampler tube when pushing the tube during sampling, and thus, evaluate the influence of such value on the quality of the samples. The sample's quality was evaluated based on the results of incremental-loading one-dimensional consolidation tests carried out on specimens trimmed with diameters of about 50 mm and 70 mm, and a height of 20 mm. This also allowed the evaluation of the influence of the specimen's diameter on quality. All specimens were classified as “excellent to very good” according to Lunne et al's (1997) criterion. Moreover, no influence of the specimen diameter on the results was observed. However, the results suggest that the use of the polymer on the inner surface of the sampler tube seems to have had influence on the quality of the sample.

KEYWORDS: Soft Clay, Sampling, Sample Quality, Disturbance, One-Dimensional Consolidation Test.



1 Introdução

Um dos problemas relacionados à engenharia de solos moles é o comprometimento da representatividade dos parâmetros de resistência e de deformabilidade obtidos em ensaios de laboratório devido ao amolgamento decorrente dos processos de amostragem. Por este motivo, muito esforço tem sido despendido no sentido de não apenas avaliar a melhor técnica de amostragem dentre as disponíveis, mas também de aprimorá-las.

Como um dos efeitos mais evidentes do amolgamento de uma amostra de argila mole é a alteração das características de compressibilidade e de adensamento, uma das maneiras de se avaliar a qualidade de amostras/ corpos de prova é mediante a análise de resultados de ensaios de adensamento edométrico.

Assim, este trabalho teve como objetivos: avaliar a qualidade de amostras extraídas do depósito de argila mole do campo experimental Sarapuí II, localizado no município de Duque de Caxias, RJ, utilizando amostradores tubulares de parede fina de pistão estacionário Geonor/NGI 76 mm; avaliar o efeito da aplicação do etileno-propileno fluorado (FEP) na superfície interna do tubo de amostragem na qualidade da amostra; avaliar a influência do diâmetro do corpo de prova em relação ao diâmetro da amostra na qualidade dos corpos de prova.

2 Materiais e Métodos

2.1 Descrição do Depósito de Argila do Campo Experimental Sarapuí II

O campo experimental Sarapuí II, utilizado pelo Laboratório de Ensaios de Campo e Instrumentação Professor Marcio Miranda Soares, da COPPE/UFRJ, pertence à Estação de Rádio da Marinha, em Duque de Caxias, RJ. A região encontra-se na margem esquerda do rio Sarapuí, próximo à Rodovia Washington Luiz (BR-040) (coordenadas aproximadas 22°44'27"S e 43°16'49"W).

De acordo com Jannuzzi (2009), na área do campo experimental, a camada de argila muito mole a mole ocorre a partir do terreno natural, com espessura variando entre 6,5 e 10,0 m. O nível d'água praticamente coincide com o nível do terreno. A datação por radiocarbono realizada por Danziger et al. (2019) em 15 amostras extraídas ao longo do perfil do depósito de argila indicaram que a sua formação ocorreu entre 8590 e 2300 anos atrás, com uma taxa de deposição média de 0,9 mm/ano.

Jannuzzi (2009), Jannuzzi (2013) e Jannuzzi et al. (2015) realizaram uma extensa pesquisa de caracterização do depósito de argila do Sarapuí II, envolvendo diversos tipos de investigações geotécnicas de campo e de laboratório. Informações acerca da granulometria, mineralogia, índices físicos e parâmetros de resistência e de compressibilidade ao longo do perfil do depósito de argila do Sarapuí II podem ser encontradas nas referências supracitadas.

2.2 Campanha de Amostragem

Para esta pesquisa foram extraídas duas amostras intactas da Argila do Sarapuí II, com amostradores tubulares Geonor/NGI 76 mm, ambas entre as profundidades de 3,50 m e 4,30 m, em dois furos distantes de 6,0 m. Todo o procedimento de amostragem encontra-se detalhadamente descrito em Lopes (2021).

Um dos tubos amostradores teve a sua superfície interna revestida com etileno-propileno fluorado (FEP), a fim de tentar reduzir as tensões cisalhantes estabelecidas entre o tubo amostrador e a amostra durante a manobra de cravação do tubo no solo. A amostra coletada com o tubo amostrador revestido com o FEP foi identificada como NGI-RP (RP: revestido com polímero), enquanto que a amostra coletada com o tubo não revestido foi identificada como NGI-NR (NR: não revestido).

A amostra NGI-RP foi extraída no dia 14 de janeiro de 2020, ao passo que a extração da amostra NGI-NR ocorreu no dia 5 de maio de 2021. O longo período compreendido entre as duas amostragens foi devido à interrupção dos trabalhos de campo em decorrência da pandemia de Covid-19. Após a extração, a amostra foi cuidadosamente transportada ao Laboratório de Ensaios de Campo e Instrumentação (LECI) Professor Marcio Miranda Soares, da COPPE/UFRJ, onde permaneceu armazenada em uma câmara com temperatura e umidade controladas.



2.3 Descrição do Amostrador Geonor/NGI 76 mm

O amostrador tubular de parede fina com pistão estacionário Geonor/NGI 76 mm foi desenvolvido para retirar amostras indeformadas de argilas, principalmente de consistência mole. A descida do amostrador no subsolo até a profundidade de amostragem dispensa a execução de pré-furo, podendo a sua cravação ser realizada com velocidade controlada por meio de um equipamento que consiste de uma estrutura de reação, na qual é montado um sistema de cravação.

O tubo amostrador consiste em um tubo de aço inoxidável, de parede fina com 2,00 mm de espessura, com 76 mm de diâmetro interno, sem folga interna, e com um bisel de ângulo de 9° em sua extremidade inferior. O tubo possui 880 mm de comprimento total, dos quais 800 mm destinam-se a comportar a amostra. O pistão estacionário possui uma ponta cônica para a cravação de todo o conjunto amostrador no subsolo até a profundidade de amostragem. As hastes internas e externas são formadas por segmentos rosqueáveis de 1,0 m de comprimento, sendo que o deslocamento relativo entre elas ao longo do eixo vertical pode ser permitido ou não, de modo a possibilitar, primeiramente, a cravação de todo o conjunto amostrador no subsolo e, posteriormente, atingida a profundidade de amostragem, a cravação somente do tubo amostrador para a recuperação da amostra. Uma descrição mais detalhada do amostrador Geonor/NGI 76 mm e de seu funcionamento pode ser visto em Lopes (2021).

2.4 Ensaios de Adensamento Edométrico

Nas duas amostras intactas extraídas, foram moldados treze corpos de prova com cerca de 50 mm e 70 mm de diâmetro, os quais foram submetidos a ensaios de adensamento edométrico de carga incremental.

Os corpos de prova foram moldados no Laboratório de Ensaios de Campo e Instrumentação (LECI), da COPPE/UFRJ, e transportados, no mesmo dia, para o Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente (LGMA), da PUC-Rio, onde os ensaios de caracterização e de adensamento edométrico foram realizados. Tal procedimento foi adotado porque a extração de segmentos de amostra do interior do tubo amostrador para a moldagem dos corpos de prova fez uso de um extrator de amostras horizontal motorizado de propriedade do LECI. Todo o procedimento de moldagem dos corpos de prova encontra-se descrito em Lopes (2021).

Os ensaios de adensamento edométrico foram executados em quatro diferentes baterias, denominadas de EDO-RP, EDO-NR(SEC), EDO-NR(26D), EDO-NR(RM). A Tabela 1 mostra, para cada corpo de prova: a amostra de origem, a profundidade, o diâmetro e os estágios de carregamento e de descarregamento do ensaio edométrico. Os estágios de carregamento tiveram duração de 24 horas cada. Os estágios finais de descarregamento tiveram duração de 12 horas cada. Em linhas gerais, os ensaios foram realizados de acordo com a ABNT NBR 16853/2020, porém com algumas particularidades descritas a seguir.

A primeira bateria, denominada de EDO-RP, envolveu quatro corpos de prova esculpidos na amostra NGI-RP, a saber: CPRP-A, CPRP-B, CPRP-C e CPRP-D.

A segunda bateria, denominada de EDO-NR(SEC), envolveu quatro corpos de prova esculpidos na amostra NGI-NR, a saber: CPNR-B, CPNR-C, CPNR-D e CPNR-F. Os quatro corpos de prova permaneceram descarregados, sob $\sigma_v = 160$ kPa, por 99.960 minutos (cerca de 70 dias), cada qual com um valor de razão de sobreadensamento (OCR) indicado na Tabela 1, para monitoramento do eventual adensamento secundário que poderia vir a ocorrer após a expansão primária. Os resultados destes monitoramentos são apresentados em Lopes (2021). Os ensaios da primeira e segunda baterias foram realizados em uma sala com temperatura controlada de $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

A terceira bateria, denominada de EDO-NR(26D), envolveu três corpos de prova esculpidos na amostra NGI-NR, a saber: CPNR-E, CPNR-G e CPNR-H. Estes ensaios foram montados e iniciados 26 dias após a moldagem dos corpos de prova, período no qual estes ficaram armazenados na câmara úmida do LGMA sob temperatura e umidade controladas. Nestes ensaios, foi introduzido um estágio de carregamento de $\sigma_v = 30$ kPa, entre os estágios de 20 kPa e 40 kPa, buscando uma melhor definição da curva de compressão na região da tensão de sobreadensamento.

A quarta bateria, denominada de EDO-NR(RM), envolveu dois corpos de prova esculpidos na amostra NGI-NR, a saber: CPNR-RM1 e CPNR-RM2. Estes corpos de prova foram moldados em um



segmento da amostra NGI-NR que foi completamente amolgado manualmente dentro de um saco plástico, tratando-se, portando, de corpos de prova remoldados. Os ensaios da terceira e da quarta bateria foram realizados em outra sala com temperatura controlada de $22 \pm 1^\circ\text{C}$.

Tabela 1. Informações dos corpos de prova e dos ensaios edométricos

Ensaio/ Corpo de prova	Amostra	Prof. (m)	Diâmetro (mm)	Estágios de carregamento e de descarregamento do ensaio edométrico, σ_v (kPa)
CPRP-A	NGI-RP	3,65 - 3,70	71,09	2,5; 5,0; 10; 20; 40; 80; 160; 320; 640; 320; 160.
CPRP-B	NGI-RP	3,70 - 3,75	50,36	2,5; 5,0; 10; 20; 40; 80; 160; 320; 640; 320; 160.
CPRP-C	NGI-RP	3,75 - 3,80	71,16	2,5; 5,0; 10; 20; 40; 80; 160; 320; 640; 320; 160.
CPRP-D	NGI-RP	3,85 - 3,90	50,32	2,5; 5,0; 10; 20; 40; 80; 160; 320; 640; 320; 160.
CPNR-B	NGI-NR	3,70 - 3,75	50,36	2,5; 5,0; 10; 20; 40; 80; 160; 240; 160 (sec - OCR = 1,50); 240; 640; 320; 160.
CPNR-C	NGI-NR	3,83 - 3,88	71,16	2,5; 5,0; 10; 20; 40; 80; 160; 280; 160 (sec - OCR = 1,75); 280; 640; 320; 160.
CPNR-D	NGI-NR	3,93 - 3,98	50,32	2,5; 5,0; 10; 20; 40; 80; 160; 320; 160 (sec - OCR = 2,00); 320; 640; 320; 160.
CPNR-F	NGI-NR	4,04 - 4,09	71,03	2,5; 5,0; 10; 20; 40; 80; 160; 360; 160 (sec - OCR = 2,25); 360; 640; 320; 160.
CPNR-E	NGI-NR	3,98 - 4,04	50,34	2,5; 5,0; 10; 20; 30; 40; 80; 160; 320; 640; 320; 160.
CPNR-G	NGI-NR	4,09 - 4,14	70,97	2,5; 5,0; 10; 20; 30; 40; 80; 160; 320; 640; 320; 160.
CPNR-H	NGI-NR	4,14 - 4,19	50,35	2,5; 5,0; 10; 20; 30; 40; 80; 160; 320; 640; 320; 160.
CPNR-RM1	NGI-NR	3,50 - 3,63	50,32	2,5; 5,0; 10; 20; 40; 80; 160; 320; 640; 320; 160.
CPNR-RM2	NGI-NR	3,50 - 3,63	71,20	2,5; 5,0; 10; 20; 40; 80; 160; 320; 640; 320; 160.

(sec - OCR = X) : monitoramento do adensamento secundário com OCR = X.

3 Resultados e Análises

3.1 Ensaios de Caracterização

Nas duas amostras intactas, foram realizados ensaios de limites de Atterberg (ABNT NBR 6459/2016; ABNT NBR 7180/2016). Os ensaios de granulometria, de densidade relativa dos grãos (G_s) (ABNT NBR 6458/2016) e de teor de matéria orgânica (T.M.O.) (ABNT NBR 13600/1996) foram realizados apenas na amostra NGI-NR. A Tabela 2 apresenta a granulometria, enquanto a caracterização física é apresentada na Tabela 3.

Tabela 2. Granulometria da amostra NGI-NR

Amostra	Prof. (m)	Granulometria (%) (ABNT NBR 6502)		
		Argila	Silte	Areia
NGI-NR	3,50 - 4,30	57	33	10

Tabela 3. Caracterização física das amostras NGI-RP e NGI-NR

Amostra	Prof. (m)	G_s	T.M.O. (%)	w_L (%)	w_P (%)	I_P (%)
NGI-RP	3,50 - 4,30			182	53	129
NGI-NR	3,50 - 4,30	2,57	8,6	158	44	114

w_L : limite de liquidez; w_P : limite de plasticidade; I_P : índice de plasticidade.

A Tabela 4 apresenta os índices físicos dos treze corpos de prova submetidos aos ensaios edométricos.



Tabela 4. Índices físicos dos corpos de prova dos ensaios edométricos.

Ensaio/ Corpo de prova	Profundidade (m)	Diâmetro (mm)	w_n (%)	S_r (%)	e_0	γ_n (kN/m ³)
CPRP-A	3,65 - 3,70	71,09	152	100	3,90	13,0
CPRP-B	3,70 - 3,75	50,36	152	100	3,91	13,0
CPRP-C	3,75 - 3,80	71,16	151	100	3,88	13,0
CPRP-D	3,85 - 3,90	50,32	143	100	3,67	13,1
CPNR-B	3,70 - 3,75	50,36	150	99,0	3,91	12,9
CPNR-C	3,83 - 3,88	71,16	147	100	3,71	13,2
CPNR-D	3,93 - 3,98	50,32	151	100	3,83	13,1
CPNR-F	4,04 - 4,09	71,03	146	100	3,67	13,3
CPNR-E	3,98 - 4,04	50,34	144	99,8	3,72	13,1
CPNR-G	4,09 - 4,14	70,97	143	100	3,63	13,3
CPNR-H	4,14 - 4,19	50,35	142	100	3,63	13,2
CPNR-RM1	3,50 - 3,63	50,32	160	100,0	4,11	12,8
CPNR-RM2	3,50 - 3,63	71,20	146	97,8	3,85	12,8

w_n : teor de umidade natural; S_r : grau de saturação; e_0 : índice de vazios; γ_n : peso específico do solo.

3.2 Ensaios de Adensamento Edométrico

3.2.1 Parâmetros de Compressibilidade

As curvas de compressão edométrica, tanto em termos de índice de vazios (e) quanto em termos de deformação vertical específica (ϵ_v) *versus* tensão vertical efetiva (σ'_v) em escala logarítmica, de todos os corpos de prova são apresentadas individualmente em Lopes (2021). A Figura 1 reúne as curvas de compressão “ ϵ_v *versus* σ'_v (log)”, plotadas em termos de 24 horas de duração do estágio, de todos os treze corpos de prova. Nas curvas de compressão “ e *versus* σ'_v (log)”, foram determinados os seguintes parâmetros de compressibilidade: índice de recompressão (C_r), índice de compressão virgem (C_c) e índice de expansão (C_e). Os valores de C_r , C_c e C_e , bem como os valores de $C_c/(1+e_0)$ e C_r/C_c , dos onze corpos de prova intactos são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros de compressibilidade dos corpos de prova intactos.

Ensaio/ Corpo de prova	Profundidade (m)	Diâmetro (mm)	e_0	C_r	C_c	C_e	$C_c / (1 + e_0)$	C_r / C_c
CPRP-A	3,65 - 3,70	71,09	3,90	0,35	2,56	0,24	0,52	0,14
CPRP-B	3,70 - 3,75	50,36	3,91	0,46	3,12	0,24	0,64	0,15
CPRP-C	3,75 - 3,80	71,16	3,88	0,46	3,07	0,24	0,63	0,15
CPRP-D	3,85 - 3,90	50,32	3,67	0,34	2,63	0,22	0,56	0,13
CPNR-B	3,70 - 3,75	50,36	3,91	0,45	3,13	0,23	0,64	0,14
CPNR-C	3,83 - 3,88	71,16	3,71	0,39	2,41	0,22	0,51	0,16
CPNR-D	3,93 - 3,98	50,32	3,83	0,19	2,21	0,21	0,46	0,09
CPNR-F	4,04 - 4,09	71,03	3,67	0,36	2,41	0,21	0,52	0,15
CPNR-E	3,98 - 4,04	50,34	3,72	0,26	2,40	0,23	0,51	0,11
CPNR-G	4,09 - 4,14	70,97	3,63	0,27	2,67	0,25	0,58	0,10
CPNR-H	4,14 - 4,19	50,35	3,63	0,23	2,35	0,23	0,51	0,10

Os valores de $C_c/(1+e_0)$ dos corpos de prova intactos ficaram compreendidos entre 0,46 e 0,64, sendo o valor médio igual a 0,55. O valor médio de $C_c/(1+e_0)$ dos corpos de prova intactos moldados na amostra NGI-RP (amostrador revestido com o FEP), igual a 0,59, foi maior do que o valor médio de $C_c/(1+e_0)$ dos corpos de prova da amostra NGI-NR (amostrador sem revestimento), igual a 0,53. Como o amolgamento diminui a compressibilidade no domínio de compressão virgem (ver item 3.2.2), isto é um indicio de que a



aplicação do FEP possa ter melhorado a qualidade da amostra. Em contrapartida, não foi observada uma influência do diâmetro do corpo de prova nos valores obtidos de $C_c/(1+e_0)$.

Os valores da tensão de sobreadensamento (σ'_{vm}), determinados pelo método de Silva (1970), bem como os valores de razão de sobreadensamento (OCR) dos corpos de prova são apresentados na Tabela 6.

3.2.2 Qualidade das Amostras/Corpos de Prova

A comparação entre as curvas de compressão edométrica “ ε_v versus $\sigma'_v(\log)$ ” dos corpos de prova intactos e dos corpos de prova remoldados (Figura 1) já aponta para a excelente qualidade dos primeiros. Observam-se todos os efeitos do amolgamento descritos por Ladd (1973) nas curvas de compressão dos corpos de prova remoldados, a saber: (1) Aumento da deformação vertical específica (ε_v) para qualquer valor de tensão vertical efetiva (σ'_v); (2) Dificuldade para a definição do ponto de menor raio de curvatura, obscurecendo a tensão de sobreadensamento (σ'_{vm}); (3) Redução do valor estimado de σ'_{vm} ; (4) Aumento da compressibilidade na região de recompressão; (5) Diminuição da compressibilidade na região de compressão virgem.

Para uma avaliação mais refinada da qualidade das amostras/corpos de prova, foi adotado o critério de Lunne et al. (1997), o qual é baseado na relação $\Delta e/e_0$, onde Δe é a diferença entre o índice de vazios inicial do corpo de prova (e_0) e o índice de vazios obtido da curva de compressão edométrica associado à tensão vertical efetiva *in situ* ($e_{\sigma'_{v0}}$). Quanto menor o valor de $\Delta e/e_0$, melhor a qualidade. A Tabela 6 apresenta os valores de $\Delta e/e_0$ dos corpos de prova intactos, tendo sido todos classificados como de qualidade “excelente a muito boa”, com valores de $\Delta e/e_0$ variando de 0,010 a 0,032.

Para os ensaios da bateria EDO-NR(26D), a inclusão do estágio de carregamento de 30 kPa, entre os estágios de 20 kPa e 40 kPa, permitiu uma melhor definição da curva de compressão na vizinhança de σ'_{vm} e, por conseguinte, a obtenção do valor de σ'_{vm} com mais acurácia (Figura 1). Não obstante, tal medida não interfere na avaliação comparativa das qualidades dos corpos de prova com base em seus valores de $\Delta e/e_0$, uma vez que a tensão vertical efetiva *in situ* (σ'_{v0}) é bem inferior a σ'_{vm} .

Em nenhuma das duas amostras, NGI-RP e NGI-NR, observou-se influência do diâmetro do corpo de prova em sua qualidade (Tabela 6). O surpreendente é o fato de todos os corpos de prova com cerca de 70 mm de diâmetro, moldados em amostras com 76,2 mm de diâmetro, terem sido classificados como de qualidade “excelente a muito boa” segundo o critério de Lunne et al. (1997).

O valor médio de $\Delta e/e_0$ dos corpos de prova moldados na amostra NGI-RP (amostrador revestido com o FEP), igual a 0,019, é um pouco inferior ao valor médio de $\Delta e/e_0$ dos corpos de prova moldados na amostra NGI-NR (amostrador sem revestimento), igual a 0,023 (Tabela 6). Embora isto seja um indício de que o revestimento de FEP possa ter melhorado a qualidade da amostra, a baixa quantidade de resultados aliada à dispersão dos valores de $\Delta e/e_0$ (Tabela 6) não permite apontar para uma clara influência do revestimento de FEP na qualidade da amostra.

O mais contundente é o fato das distorções nas amostras provocadas pelas tensões cisalhantes estabelecidas no contato entre a superfície lateral da amostra e a parede interna do amostrador (aço inoxidável e FEP), tanto durante a cravação do tubo amostrador no campo quanto durante a extrusão da amostra do tubo no laboratório, não terem sido relevantes a ponto de prejudicar a qualidade das mesmas. É provável que a ausência de pré-furo na amostragem tenha sido o fator preponderante para a excelente qualidade das amostras.

Vale ressaltar ainda que os resultados desta pesquisa contrariam a tese de que o critério de Lunne et al. (1997) é muito rigoroso para argilas muito plásticas, como a Argila do Sarapuí II.

3.2.3 Coeficiente de Adensamento

Em todos os ensaios de adensamento, nos estágios de carregamento a partir de 10 kPa inclusive, foram determinados os valores de coeficiente de adensamento por drenagem vertical (c_v) tanto pelo método de Taylor ($\sqrt{t}$) quanto pelo método de Casagrande ($\log(t)$). As curvas “ $c_v(\log)$ versus $\sigma'_v(\log)$ ” de todos os ensaios, com os valores de c_v determinados pelo método de Taylor e os respectivos valores médios de σ'_v dos



estágios, são apresentadas na Figura 2. Para os corpos de prova intactos, no domínio de recompressão, os valores de c_v determinados pelo método de Taylor ficaram compreendidos entre $1,6 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ e $7,3 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, sendo o valor médio igual a $3,1 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. Para estes mesmos corpos de prova, no domínio de compressão virgem, os valores de c_v determinados pelo método de Taylor ficaram compreendidos entre $1,1 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ e $1,9 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, sendo o valor médio igual a $1,3 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$. Os valores de c_v determinados pelo método de Casagrande foram levemente inferiores aos determinados pelo método de Taylor.

Da Figura 2 observa-se que, nos corpos de prova intactos, os valores de c_v sofrem uma queda brusca quando σ'_v ultrapassa a tensão de sobreadensamento (σ'_{vm}), o que é decorrência do aumento significativo da compressibilidade quando o corpo de prova sai do domínio de recompressão e entra no domínio de compressão virgem (Figura 1). Por outro lado, para os corpos de prova remoldados, tal contraste de compressibilidade não é observado (Figura 1), o que explica os valores de c_v permanecerem praticamente constantes ao longo de todo domínio de σ'_v (Figura 2).

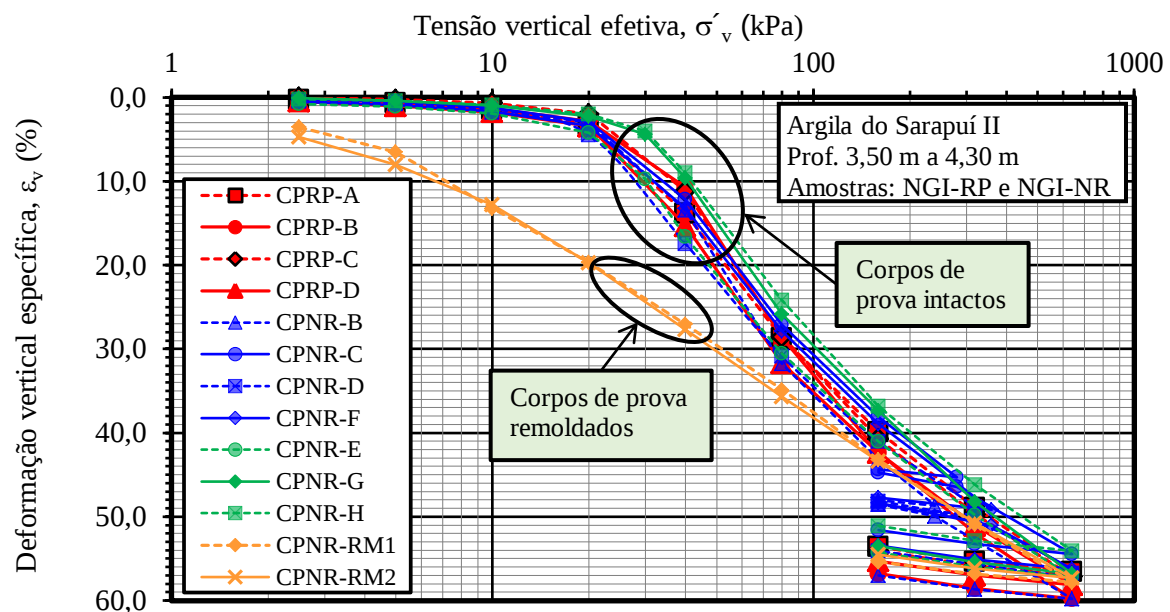


Figura 1. Curvas de compressão edométrica “ ε_v versus $\sigma'_v(\log)$ ” de todos os corpos de prova.

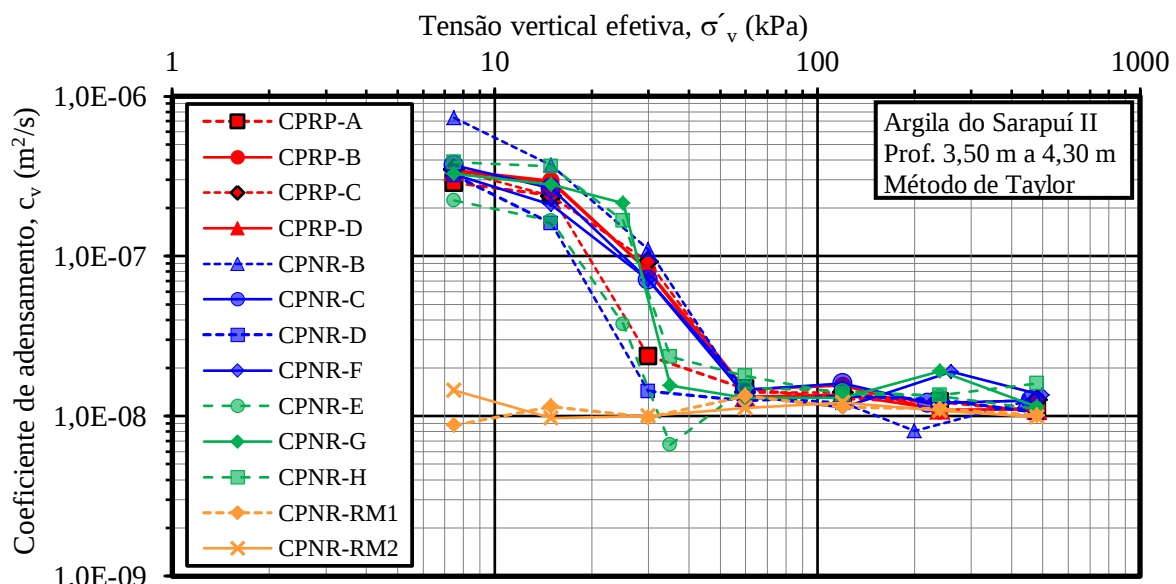


Figura 2. Curvas de coeficiente de adensamento “ $c_v(\log) \times \sigma'_{vmédio}(\log)$ ” (método de Taylor).

Tabela 6. Cálculo dos valores de $\Delta e/e_0$ dos corpos de prova intactos.

Ensaio/ Corpo de prova	Profundidade (m)	Diâmetro (mm)	σ'_{v0} (kPa)	σ'_{vm} (kPa)	OCR	e_0	$e_{\sigma'v0}$	$\Delta e/e_0$
CPRP-A	3,65 - 3,70	71,09	11,0	26,0	2,4	3,90	3,82	0,021
CPRP-B	3,70 - 3,75	50,36	11,1	33,7	3,0	3,91	3,84	0,018
CPRP-C	3,75 - 3,80	71,16	11,3	32,4	2,9	3,88	3,84	0,010
CPRP-D	3,85 - 3,90	50,32	11,6	25,9	2,2	3,67	3,58	0,025
CPNR-B	3,70 - 3,75	50,36	11,1	30,7	2,8	3,91	3,83	0,020
CPNR-C	3,83 - 3,88	71,16	11,5	29,3	2,5	3,71	3,64	0,019
CPNR-D	3,93 - 3,98	50,32	11,8	19,4	1,6	3,83	3,72	0,029
CPNR-F	4,04 - 4,09	71,03	12,2	27,7	2,3	3,67	3,58	0,025
CPNR-E	3,98 - 4,04	50,34	12,0	22,5	1,9	3,72	3,60	0,032
CPNR-G	4,09 - 4,14	70,97	12,3	31,2	2,5	3,63	3,57	0,017
CPNR-H	4,14 - 4,19	50,35	12,5	30,6	2,4	3,63	3,57	0,017

4 Conclusões

Todos os corpos de prova intactos, moldados nas duas amostras extraídas com o amostrador Geonor/NGI 76 mm do depósito de Argila do Sarapuú II entre 3,50 m e 4,30 m de profundidade, submetidos a ensaios de adensamento edométrico, foram classificados como de qualidade “excelente a muito boa” segundo o critério de Lunne et al. (1997). Não se observou influência do diâmetro do corpo de prova em sua qualidade. Ressalta-se que mesmos os corpos de prova com cerca de 70 mm de diâmetro moldados nas duas amostras, que tinham 76,2 mm de diâmetro, foram todos classificados como de qualidade “excelente a muito boa”. Há indícios de que a aplicação do FEP na superfície interna do tubo amostrador possa ter exercido influência na qualidade da amostra. É provável que a ausência de pré-furo na amostragem tenha sido o fator preponderante para a excelente qualidade das amostras recuperadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Danziger, F.A.B., Jannuzzi, G.M.F., Martins, I.S.M. (2019) The relationship between sea-level change, soil formation and stress history of a very soft clay deposit. *AIMS Geosciences*. v. 5, (3), pp. 462–479.
- Jannuzzi, G.M.F. (2009), *Caracterização do depósito de solo mole de Sarapuú II através de ensaios de campo*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Januzzi, G. M. F. (2013) *Inovadoras, Modernas e Tradicionais Metodologias para Investigações Geológico-Geotécnicas de Sarapuú II*. Tese de Doutorado - COPPE/UFRJ.
- Jannuzzi, G. M. F., Danziger, F. A. B., Martins, I. S. M. (2015) Geological-geotechnical characterisation of Sarapuú II clay. *Engineering Geology*. v.190, p.77-86,
- Ladd, C. C. (1973) Estimating settlements of structures supported on cohesive soils. Paper originally prepared for MIT 1971 Special Summer Program, 1.34s, “*Soft Ground Construction*”. Massachusetts, USA, p. 99.
- Lopes, V. G. (2021) *Avaliação da qualidade de amostras da Argila do Sarapuú II extraídas com amostradores tubulares de pistão estacionário Geonor/NGI 76 mm*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro / Puc-RJ, 197 p.
- Lunne, T., Berre, T., Strandvik, S. (1997) *Sample Disturbance Effects in Soft Low Plastic Norwegian Clay*, Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics, Balkema, Rotterdam, p. 81-102
- Silva, F. P. (1970) Uma nova construção gráfica para a determinação da pressão de pré-adensamento de uma amostra de solo. In: *IV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Anais*, Guanabara, v. II, tomo I, p. 219-223.