

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
15 a 18 de Setembro de 2020 – Campinas - SP



Comparação entre resultados de ensaios de adensamento realizados com velocidade de deformação controlada (CRS) e ensaios de adensamento convencionais

Rodrigo Serafim

Engenheiro Civil, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo, Brasil, E-mail: rodrigos@ipt.br

José Maria de Camargo Barros

Dr., Engenheiro Civil, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, São Paulo, Brasil, E-mail: jmbarros@ipt.br

RESUMO: O presente trabalho apresenta os resultados de uma campanha de ensaios de adensamento convencionais, em estágios de carregamento constante, e ensaios de adensamento com taxa de deformação constante em diferentes velocidades de deformação realizados em três amostras de argilas marinhas da costa brasileira e de uma amostra de argila dura cinza de São Paulo (taguá). Os objetivos principais do trabalho foram avaliar o efeito da velocidade de deformação nos resultados de ensaios CRS e comparar seus resultados com os obtidos em ensaios de adensamento convencionais em amostras de argilas brasileiras.

PALAVRAS-CHAVE: ensaio de adensamento, adensamento CRS, CRS, adensamento com taxa constante de deformação.

ABSTRACT: The present work presents the results of a campaign of conventional consolidation tests and consolidation tests with constant rate of strain at different applied deformation rates carried out on three samples of marine clays from the Brazilian coast and of a sample of hard stiff clay from São Paulo (taguá). The objectives of the present study are to evaluate the effect of the strain rate in the results of CRS tests and compare their results to those of conventional tests, in Brazilian clays.

KEYWORDS: consolidation test, CRS consolidation, CRS, constant rate of strain consolidation.

1 Introdução

Uma das principais características dos solos a ser investigada em projetos de engenharia é a sua compressibilidade, particularmente no caso de solos finos.

O procedimento de laboratório mais utilizado para avaliar a compressibilidade dos solos é o ensaio de adensamento unidimensional, normalizado pela ABNT (NBR 12007/90). Nesse método, o corpo de prova de formato cilíndrico, mantido lateralmente confinado, é axialmente carregado em incrementos, sendo a carga mantida constante em cada incremento, que dura em geral 24 horas, de forma a garantir que todo o excesso de pressão na água dos poros se dissipe. A drenagem é permitida pela base e pelo topo.

Os resultados do ensaio são apresentados num gráfico em que nas ordenadas se têm as variações de volume (representadas pelos índices de vazios finais em cada estágio de carregamento) e nas abscissas, em escala logarítmica, as tensões verticais efetivas aplicadas (σ'_{vm}). Nesse gráfico são obtidos alguns parâmetros essenciais para a estimativa de recalques totais, que são a tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}) e os índices de compressão (C_c), de recompressão (C_r) e de expansão (C_e). Outro parâmetro de interesse obtido no ensaio é o coeficiente de adensamento (c_v) que permite avaliar o tempo de ocorrência dos recalques. Esse coeficiente é determinado a partir das curvas de variação de altura do corpo de prova em função do tempo para cada um dos estágios de carregamento.

Uma alternativa bastante interessante ao ensaio de adensamento convencional em estágios de carregamento constante é o ensaio de adensamento contínuo com velocidade constante de deformação,

conhecido como CRS (“Constant Rate of Strain Consolidation”). Esse ensaio foi desenvolvido para contornar duas limitações do ensaio de adensamento convencional: a) ampliar o número de pontos que definem a curva $e - \log \sigma'_v$, e desta forma, melhorar a definição da tensão de pré-adensamento; b) reduzir o tempo necessário para a realização de ensaios. Em países como a Suécia, esse ensaio já é o mais utilizado para determinar as propriedades de compressibilidade de argilas (HOLM, 2016).

Uma das dificuldades do ensaio de adensamento com carregamento em incrementos é sua longa duração. Um ensaio de adensamento completo (com estágios de carregamento e descarregamento) tem duração de cerca de 15 dias ou mais, no caso de solos muito impermeáveis. O ensaio CRS pode requerer de algumas horas a cerca de dois dias para ser executado.

A Figura 1 apresenta os padrões de carregamento para os dois tipos de ensaio. Os ensaios CRS foram idealizados por Hamilton e Crawford (1959) e foram desenvolvidos em 1969 por Smith e Wahls, seguidos por Wissa *et al.* (1971). No Brasil, o pioneirismo no ensaio coube a Carvalho (1989), que realizou ensaios do tipo CRS nos solos argilosos de Sarapuú (RJ). No ensaio, a drenagem é permitida em apenas uma das faces do corpo de prova, em geral o topo. A outra face (base) é mantida sob condições não drenadas, de forma a possibilitar a medição das pressões neutras geradas pelo carregamento (u_b). Contrapressão é aplicada na face drenante para garantir completa saturação do corpo de prova.

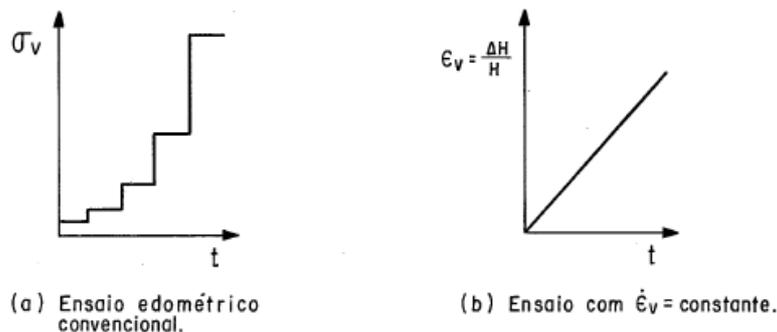


Figura 1. Padrões de carregamento de ensaios de adensamento convencional e CRS (HEAD, 1986).

Como desvantagens em relação ao ensaio convencional, no ensaio CRS não é possível se medir a compressão secundária da argila e as pressões neutras geradas são dependentes da velocidade de deformação (DIAS-RODRIGUES ET AL., 2014). Portanto, a escolha da velocidade de deformação é um aspecto de grande importância nesse ensaio. Com base nos estudos de Gorman *et al.* (1978), a norma D4186-82 (1982) da ASTM estabelecia valores de velocidade de deformação para execução do ensaio em função do Limite de Liquidez do solo (Tabela 1). Entretanto, em 1991, a ASTM deixou de considerar esse critério, recomendando em seu lugar que durante o ensaio a velocidade de deformação seja tal que a razão u_b/σ_v permaneça no intervalo entre 3% e 30%. Já a partir de 2006 e inclusive em sua versão mais recente (D4186-12, 2012), a ASTM estipula que a razão u_b/σ_v permaneça durante o ensaio no intervalo entre 3% e 15%. Para valores superiores a 15%, não é possível garantir razoável uniformidade do índice de vazios e da tensão efetiva ao longo do corpo de prova e também pode ser questionada a aplicabilidade da lei de Darcy. Por outro lado, é necessário garantir um valor mensurável de u_b e por isso é estabelecido um valor mínimo de 3% para u_b/σ_v . Um valor de u_b muito baixo pode gerar elevados erros no cálculo do c_v .

Tabela 1. Velocidade do ensaio CRS em função do Limite de Liquidez (ASTM D4186, 1982).

Limite de Liquidez (%)	Velocidade ($\dot{\epsilon}_v$) (s^{-1})	Velocidade ($\dot{\epsilon}_v$) (%/h)
< 40	$6,67 \times 10^{-6}$	2,400
40 – 60	$1,67 \times 10^{-6}$	0,600
60 – 80	$6,67 \times 10^{-7}$	0,240
80 – 100	$1,67 \times 10^{-7}$	0,060
100 – 120	$6,67 \times 10^{-8}$	0,024
120 – 140	$1,67 \times 10^{-8}$	0,006

Os objetivos principais deste trabalho foram avaliar o efeito da velocidade de deformação nos resultados de ensaios CRS e comparar seus resultados com os obtidos em ensaios de adensamento convencionais em amostras de argilas brasileiras. Neste trabalho não são avaliados os efeitos do tipo de ensaio (convencional e CRS) e da velocidade de deformação nos valores do coeficiente de adensamento do solo.

2 Solos Investigados

Informações referentes às amostras investigadas encontram-se na Tabela 2. O primeiro solo investigado é a argila dura cinza-esverdeada de São Paulo (Solo 1), também conhecida popularmente por taguá. Este solo pertence a Formação Resende, que abrange grandes áreas da bacia sedimentar de São Paulo, e é composta de argilas siltosas pouco arenosas, medianamente plásticas a plásticas, de consistência rija a dura e coloração cinza esverdeada. Este solo é sempre encontrado abaixo do nível d'água e possui como característica marcante o seu sobreadensamento elevado. Pinto e Abramento (1998), a partir de estimativas obtidas com a utilização do equipamento Camkometer, registraram pressões de pré-adensamento num intervalo de 300 a 4800 kPa.

Os três outros solos investigados (Solos 2 a 4) são argilas marinhas da costa brasileira, provenientes da Bacia de Campos. Estes solos têm sido objeto de estudos em razão das descobertas de campos de petróleo em águas profundas na primeira década deste século.

Os corpos de prova utilizados nos ensaios foram obtidos a partir de uma amostra indeformada em bloco no caso da argila dura e em amostradores de 4" no caso das argilas marinhas.

Tabela 2. Identificação dos solos investigados.

Solo	Identificação
1	Argila dura cinza esverdeada de São Paulo
2	Argila marinha - Campo Jubarte
3	Argila Marinha - Campo Jubarte
4	Argila Marinha - Campo Jabuti

Sobre cada uma das amostras discriminadas na Tabela 2, foram realizados ensaios para a determinação da massa específica dos grãos, limite de liquidez, limite de plasticidade e granulometria com sedimentação, de acordo respectivamente com as normas NBR-6458, NBR-6459, NBR-7180 e NBR-7181 da ABNT. Todos os ensaios foram realizados com secagem prévia da amostra ao ar. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 2.

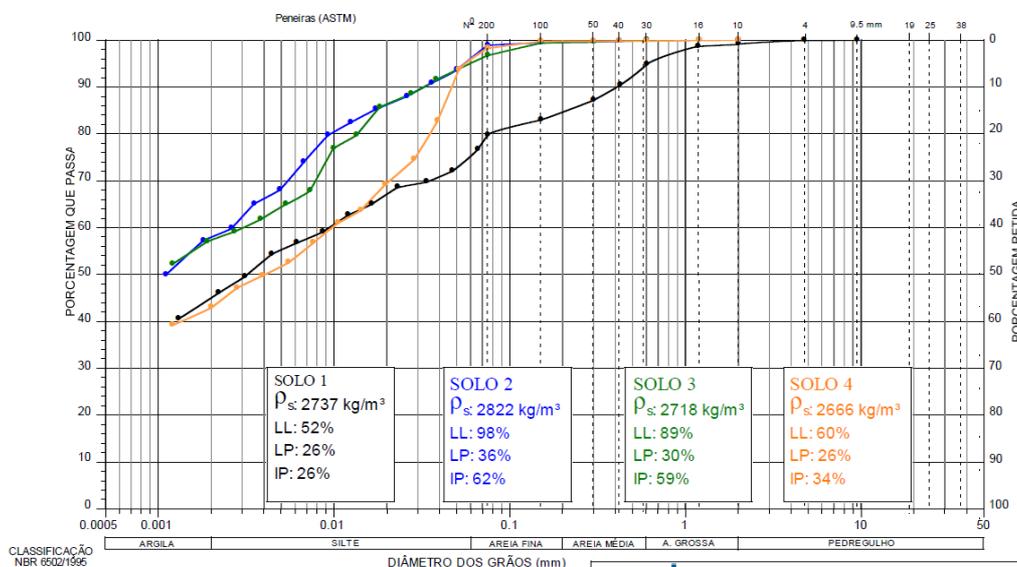


Figura 2. Resultados dos ensaios de caracterização realizados nas amostras investigadas.



3 Ensaios de Adensamento

Foram realizados ensaios de adensamento convencionais e CRS nos quatro solos. Os tipos de ensaios realizados, os índices físicos iniciais dos corpos de prova, as velocidades de deformação utilizadas nos ensaios CRS e as relações u_b/σ_v obtidas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Informações e índices físicos dos ensaios realizados.

Solo	Ensaio	Velocidade (%/h)	Índices Físicos Iniciais				u_b/σ_v (%)
			w (%)	γ_n (kg/m ³)	e_0	S (%)	
1	Convencional	-	17,6	2045	0,57	84	-
	CRS	0,6	15,3	2023	0,56	74	0,1
	CRS	2,4	14,3	2071	0,51	77	0,2
2	Convencional	-	71,9	1652	1,94	100	-
	CRS	1,44	69,3	1649	1,81	100	1,3
	CRS	2,88	69,9	1633	1,85	99	3,6
3	Convencional 1	-	97,3	1463	2,66	99	-
	Convencional 2	-	89,4	1478	2,49	98	-
	CRS	2,5	89,6	1468	2,52	97	1,6
	CRS	5,0	92,5	1485	2,54	99	2,4
	CRS	7,5	93,0	1461	2,60	98	2,5
	CRS	10,0	92,7	1474	2,57	99	1,5
4	Convencional	-	41,9	1781	1,12	99	-
	CRS	0,3	42,1	1766	1,15	98	0,3
	CRS	13,5	42,5	1761	1,16	98	0,1

3.1 Ensaios de Adensamento Convencionais

Em cada um dos Solos 1, 2 e 4 foi realizado um ensaio de adensamento convencional. No Solo 3 foram realizados dois ensaios. Os corpos de prova foram talhados com 7,15 cm de diâmetro e 2,00 cm de altura. Os carregamentos máximos aplicados variaram de 785 kPa para o solo 3 a 4124 kPa para o Solo 1, mantendo-se sempre a relação $\Delta\sigma/\sigma_v = 1$. Cada incremento de carga foi mantido por um período de 24 horas e foram registradas as deformações verticais por meio de um LVDT. Todos os ensaios foram realizados com inundação do corpo de prova desde seu início.

3.2 Ensaios de Adensamento CRS

Para cada um dos Solos 1, 2 e 4 foram realizados 2 ensaios CRS em diferentes velocidades de deformação (desde 0,3 %/h a 13,5 %/h). Para a amostra do Solo 3 foram realizados 4 ensaios CRS em velocidades de deformação variando de 2,5 %/h a 10 %/h. Os corpos de prova foram talhados com 7,50 cm de diâmetro e 2,21 cm de altura e todos foram saturados por contrapressão no início do ensaio.

Para a realização dos ensaios utilizou-se um sistema eletrônico – hidráulico da marca GDS (Foto 1), adquirido com auxílio do CNPq. O equipamento é composto por uma prensa eletrônica com capacidade de manutenção da velocidade de deformação e um controlador de pressão para aplicação da contrapressão responsável pela saturação dos corpos de prova, ambos controlados automaticamente via software.

O ensaio é totalmente automatizado, sendo monitorado por uma célula de carga submersível para as leituras da carga vertical, um transdutor de pressão na base para medição da poro-pressão e um LVDT para medição da variação de altura do corpo de prova.



Foto 1. Sistema eletrônico-hidráulico de ensaios de adensamento CRS

A escolha das velocidades de deformação se baseou inicialmente no critério indicado pela norma ASTM D4186 de 1982. Assim, a velocidade de 0,6 %/h, adotada para o primeiro ensaio do Solo 1, está diretamente relacionada ao seu Limite de Liquidez (Tabela 1). Como esta velocidade resultou em valores muito baixos para a relação u_b/σ_v , da ordem de 0,1 %, adotou-se para o segundo ensaio uma velocidade 4 vezes maior (2,4 %/h), porém, mesmo assim, a relação u_b/σ_v continuou a apresentar valores muito inferiores ao valor de 3% ao especificado na ASTM D4186 de 2012, da ordem de 0,2 %.

Decidiu-se então, para o Solo 2, partir de uma velocidade 24 vezes maior (1,44 %/h) que a estabelecida pela relação com o Limite de Liquidez. Quando obtidos os resultados do ensaio, notou-se que os valores da relação u_b/σ_v continuaram abaixo do que especifica a norma ASTM de 2012, da ordem de 1,3 %. Adotou-se então para o ensaio seguinte no Solo 2 uma velocidade 48 vezes maior (2,88 %/h) que a definida pela relação com o Limite de Liquidez. Esta velocidade conduziu à uma relação u_b/σ_v de 3,6 %.

Para o Solo 3, os quatro ensaios foram realizados com velocidades muito superiores à estabelecida pela relação com o Limite de Liquidez, Os valores obtidos para relação u_b/σ_v variaram desde 1,5% a 2,5 %.

Para o Solo 4, foi realizado um ensaio com velocidade ligeiramente superior a dada pela relação com o Limite de Liquidez (0,3 %/h). Obteve-se uma relação u_b/σ_v de 0,3 %. Embora o segundo ensaio tenha sido realizado com velocidade 45 vezes maior, obteve-se uma relação u_b/σ_v de 0,1 %, menor que a obtida no primeiro ensaio.

Como se pode notar pela Tabela 3, em somente um dos ensaios realizados atingiu-se a razão mínima de 3% para a relação u_b/σ_v . Por essa razão, não são analisados neste trabalho os valores dos coeficientes de adensamento obtidos.

4 Apresentação e Discussão dos Resultados obtidos

Em razão das diferenças existentes entre os índices de vazios iniciais dos corpos de prova de um mesmo solo (Tabela 3), optou-se neste trabalho por apresentar os resultados dos ensaios de adensamento em termos de curvas de deformação vertical específica em função do logaritmo da tensão vertical efetiva. Os resultados obtidos encontram-se nas Figuras 3 e 4.

Pode-se observar nessas figuras que a velocidade de deformação apresenta um efeito que pode ser considerado pequeno nas curvas deformação – tensão efetiva obtidas nos ensaios CRS. A maior diferença foi observada no Solo 4 em razão de, nesse solo, ter sido aplicada a maior variação na velocidade de deformação (13,5 %/h e 0,3%/h), ou seja, uma relação entre velocidades de 45. Mesmo nesse solo, a diferença se resume ao valor da tensão de pré-adensamento, pois pode-se notar em todos solos que a inclinação da reta virgem não é afetada pela velocidade.

Fica evidente dos ensaios CRS nos solos 2, 3 e 4 que, embora o efeito da velocidade de deformação seja reduzido, a tendência é que a tensão de pré-adensamento aumente com o aumento da velocidade do

ensaio. No solo 1, no entanto, o resultado foi praticamente o mesmo, para uma relação de velocidades igual a 6.

Por outro lado, ao se comparar os ensaios convencionais com os ensaios CRS, constata-se que os resultados dos ensaios CRS estão sempre à direita dos ensaios convencionais. Na realidade, para cada solo, com exceção do solo 1, o ensaio CRS realizado com a menor velocidade de deformação se posicionou bastante próximo do ensaio convencional. No caso do Solo 1, a diferença entre os dois tipos de ensaio foi mais significativa, afetando principalmente a tensão de pré-adensamento.

Verifica-se que a inclinação da reta virgem não é afetada pelo tipo de ensaio, convencional ou CRS. Uma diferença mais relevante é observada no trecho de descarregamento, sendo que nos ensaios convencionais a expansão com o descarregamento é mais significativa. A questão da determinação do trecho de descarregamento no ensaio CRS é ainda objeto de estudos (Tanaka et al., 2014).

É interessante observar na Tabela 3, que embora haja uma tendência de aumento da razão u_b/σ_v com o crescimento da velocidade de deformação, houve duas situações em que isso não ocorreu. Nos Solos 3 e 4, os menores valores de u_b/σ_v foram obtidos nos ensaios com maior velocidade (10%/h no Solo 3 e 13,5%/h no Solo 4). Comportamento semelhante foi observado na argila da Cidade do México (DIAS-RODRIGUES et al., 2017). Também nesse caso, em ensaios CRS realizados com velocidades variando de 0,125 a 50%/h, a menor razão u_b/σ_v foi observada no ensaio com maior velocidade. Esse comportamento pode indicar que para elevadas velocidades de deformação, talvez superiores a 10%/h, deixe de ocorrer a tendência de aumento da razão u_b/σ_v com a velocidade.

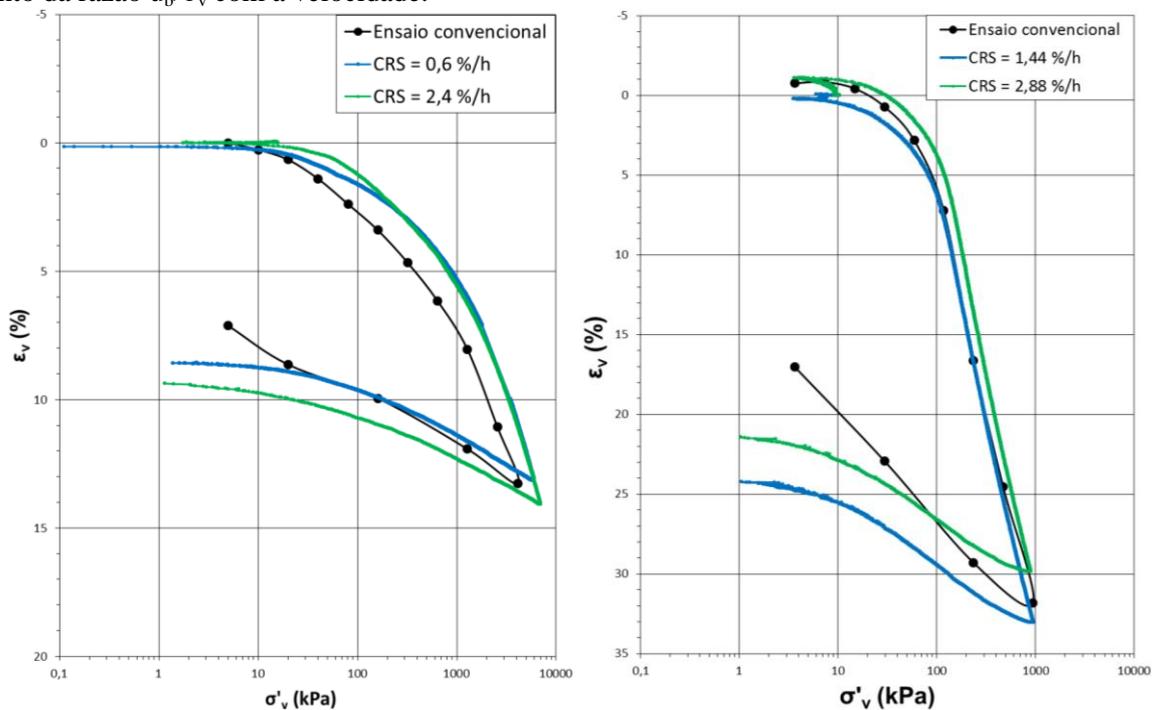


Figura 3. Curvas $\epsilon_v - \sigma'_v$ obtidas para o Solo 1 e Solo 2 respectivamente.

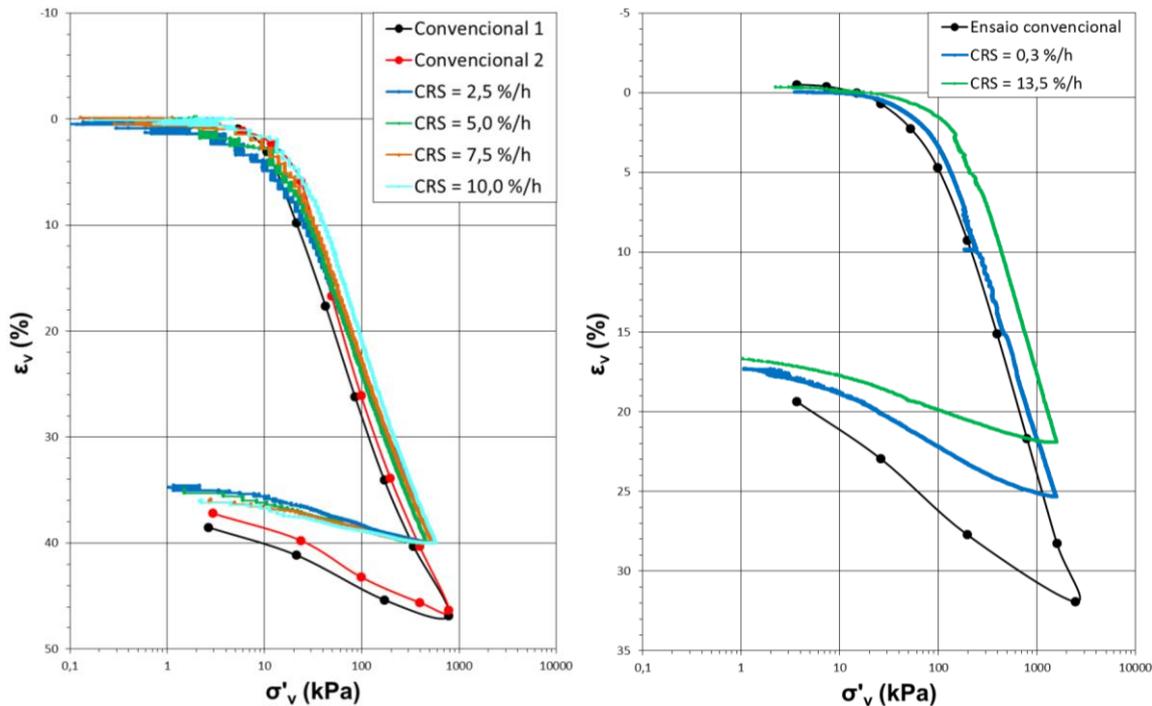


Figura 4. Curvas $\varepsilon_v - \sigma'_v$ das amostras Solo 3 e Solo 4 respectivamente.

5 Conclusões

O ensaio CRS mostra-se uma alternativa bastante interessante ao ensaio de adensamento convencional, pois reduz consideravelmente a duração de ensaio bem como, em razão do carregamento ser contínuo, possibilita obter uma curva e-log σ'_v bastante precisa com grande quantidade de pontos. Por outro lado, como desvantagens em relação ao ensaio convencional, no ensaio CRS não é possível se medir a compressão secundária e as pressões neutras geradas são dependentes da velocidade de deformação.

Os objetivos principais deste trabalho foram avaliar o efeito da velocidade de deformação nos resultados de ensaios CRS e comparar seus resultados com os obtidos em ensaios de adensamento convencionais em amostras de argilas brasileiras.

Pôde-se observar, para os solos investigados, que a velocidade de deformação apresenta em geral um efeito pequeno nas curvas deformação – tensão efetiva obtidas nos ensaios CRS, com uma tendência da tensão de pré-adensamento aumentar com o aumento da velocidade do ensaio. A maior diferença foi observada no Solo 4, em razão de nesse solo ter sido aplicada a maior variação na velocidade de deformação (uma relação entre velocidades de 45).

Ao se comparar os ensaios convencionais com os ensaios CRS, constata-se que os resultados dos ensaios CRS se posicionam sempre a direita dos ensaios convencionais. Para cada solo, o ensaio CRS realizado com a menor velocidade de deformação foi o que se posicionou mais próximo do ensaio convencional. No caso do Solo 1, a diferença entre os dois tipos de ensaio foi mais significativa, afetando principalmente a tensão de pré-adensamento.

A inclinação da reta virgem não é afetada pelo tipo de ensaio. Uma diferença mais relevante é observada no trecho de descarregamento, sendo que nos ensaios convencionais a expansão com o descarregamento é mais significativa.

Embora haja uma tendência de aumento da razão u_b/σ_v com o crescimento da velocidade de deformação, houve duas situações em que isso não ocorreu. Nos Solos 3 e 4, os menores valores de u_b/σ_v foram obtidos nos ensaios com maior velocidade, comportamento esse já registrado na literatura para a argila da Cidade do México.

Finalmente pode-se comprovar que o ponto crucial do ensaio é a escolha a velocidade de deformação a ser utilizada de forma a garantir que a razão u_b/σ_v permaneça na faixa entre 3% e 15% estabelecida pela ASTM, o que pode exigir a realização de diversos ensaios até que os valores desejados de u_b/σ_v sejam

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 15 a 18 de Setembro de 2020 – Campinas - SP



atingidos. Assim, quando do início da campanha de ensaios de um novo solo, pode ser útil variar a velocidade de deformação no primeiro ensaio e monitorar u_b até obter uma velocidade adequada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio ao estudo realizado, e aos técnicos Juliana Thaís Oliveira de Carvalho, Antônio Carlos Peroni e Benedito Mota pelo auxílio na execução dos ensaios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1990) – Solo – Ensaio de Adensamento Unidimensional – NBR 12007 – MB-3336. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ABNT (2016) – Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica, massa específica aparente e da absorção de água – Anexo B – NBR 6458. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ABNT (2016) – Solo – Análise granulométrica – NBR 7181. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ABNT (2016) – Solo – Determinação do limite de liquidez – NBR 6459. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ABNT (2016) – Solo – Determinação do limite de plasticidade – NBR 7180. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ASTM (1982 e 2012) – Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Saturated Cohesive Soils Using Controlled-Strain Loading. D4186. American Society of Testing and Materials. Philadelphia.
- CARVALHO, S. R. L. (1989) – Ensaio de Adensamento Edométrico com Taxa Constante de Deformação Específica Relacionada ao Tempo na Argila do Sarapuú. Dissertação de Mestrado, COPPE-UFRJ. 221 f.
- DÍAZ-RODRIGUES, J. A.; TONIX, W. R.; CARRIZALES, P. M. (2017) – Constant Rate of Strain Consolidation of Mexico City Soil, International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ISSMGE, (disponível em <https://www.issmge.org/publications/online-library>).
- GORMAN, C. T., HOPKINS, T. C., DEEN, R. C. e DRNEVICH, V. P. (1978) – Constant rate of strain and controlled gradient test, Geotechnical Testing Journal, ASTM, vol. 1, n. 1, pp 3-15.
- HAMILTON, J. J.; CRAWFORD, C. B. (1959) – Improved Determination of Preconsolidation Pressure of a Sensitive Clay. Symposium on Time Rates of Loading in Soil Testing. American Society for Testing Materials, ASTM, p. 254-271.
- HEAD, K. H. (1986) – Manual of Soil Laboratory Testing, ELE International Limited. Londres, vol. 2.
- HOLM, D. (2016) - Influence of Strain Rate In CRS Tests - A Laboratory Study of Three Swedish Clays. Master of Science Thesis 16/07. Royal Institute of Technology, KTH.
- PINTO, C. S., ABRAMENTO, M. (1998) – Características das argilas rijas e duras cinza-esverdeadas de S. Paulo determinadas por pressiómetro de auto-furação Camkometer. In. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 11, v. 2, pp 871-878.
- SMITH, R. E.; WAHLS, H. E., (1969) – Consolidation Under Constant Rates of Strain, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, vol 95, n. SM2, pp 519-539.
- TANAKA, H.; TSUTSUMI A.; OHASHI, T. (2014) - Unloading behavior of clays measured by CRS test, Soils and Foundations, vol 54, pp 81-93.
- WISSA, E. Z.; CRISTIAN, J. T.; DAVIS, E. H.; HEIBERG, S. (1971) – Consolidation at Constant Rate of Strain, Journal Soil Mechanics and Foundations Engineering, ASCE, vol 97, n. SM10, pp 1393-1413.