

4 Resultados dos Ensaio

Para implementar a metodologia desenvolvida na pesquisa e descrita no capítulo 3 foi feita uma campanha de ensaios para conhecer e estudar os resultados que estes ensaios fornecem.

Os ensaios realizados são os seguintes:

- I. Ensaio de adensamento (de carregamento incremental) com oedômetro, na prensa tipo Bishop, realizado com as tensões detalhadas na Tabela 4.1:

Tabela 4.1 - Tensões usadas em cada um dos estágios de um ensaio.

Estágio	Carregamento ou descarregamento	Tensão aplicada no estágio (kPa)	Tensão total (kPa)
1	Carregamento	3.76	3.76
2	Carregamento	6.24	10
3	Carregamento	10	20
4	Carregamento	20	40
5	Carregamento	40	80
6	Carregamento	80	160
7	Carregamento	80	240
8	Descarregamento	-80	160
9	Carregamento	80	240
10	Carregamento	240	480
11	Descarregamento	-240	240
12	Descarregamento	-160	80

1. Um ensaio com o estágio 7 com vácuo e o estágio 8 de desligar o vácuo. Ensaio V-10.
2. Um ensaio com todos os estágios convencionais de carregamento com pesos para comparação dos resultados obtidos no ensaio V-10. Ensaio V-11.

Na Tabela 4.2 se apresenta um resumo da campanha de ensaios de adensamento unidimensional.

Tabela 4.2 - Resumo ensaios de adensamento unidimensional

No.	Código Ensaio	Vácuo?
1	V-10	Sim, no estágio 7
2	V-11	Não

II. Ensaio de adensamento isotrópico, na célula triaxial, com drenagem por um extremo da amostra e medição de poro pressão no outro extremo.

1. Para um corpo de prova de altura de 2.90cm, adensamento por tensão de confinamento, sem vácuo. Ensaio 1BJ.
2. Para um corpo de prova de altura de 4.53cm, adensamento por tensão de confinamento, sem vácuo. Ensaio 3BJ
3. Para um corpo de prova de altura de 6.16cm, adensamento por tensão de confinamento, sem vácuo. Ensaio 5BJ
4. Para um corpo de prova de altura de 2.97cm, adensamento pela ação conjunta e simultânea de tensão por confinamento e pressão de vácuo. Ensaio 2BJ.
5. Para um corpo de prova de altura de 4.62cm, adensamento pela ação conjunta e simultânea de tensão por confinamento e pressão de vácuo. Ensaio 4BJ.
6. Para um corpo de prova de altura de 5.93cm, adensamento pela ação conjunta e simultânea de tensão por confinamento e pressão de vácuo. Ensaio 6BJ.
7. Para um corpo de prova de altura de 5.95cm, com uma primeira etapa de adensamento somente por tensão de confinamento ao final desta etapa (quando a poro pressão se estabilizar) uma segunda etapa de adensamento somente por pressão de vácuo. Ensaio 7BJ.

Tabela 4.3 – Resumo ensaios de adensamento isotrópico

No.	Código Ensaio	Vácuo?	Altura C.P.
1	1BJ	Sem vácuo	2.90cm
2	2BJ	Com vácuo	2.97cm
3	3BJ	Sem vácuo	4.53cm
4	4BJ	Com vácuo	4.62cm
5	5BJ	Sem vácuo	6.16cm
6	6BJ	Com vácuo	5.93cm
7	7BJ	Primer estágio sem vácuo Segundo estágio com vácuo	5.95cm

4.1.**Caracterização do material usado**

O material usado para esta campanha de ensaios é proveniente de um depósito de solos muito moles da Barra da Tijuca, que pertence a uma planície costeira do Rio de Janeiro (RJ), conhecida como Baixada de Jacarepaguá. O material foi retirado a uma profundidade de 12.70m em uma campanha de extração de amostras feita em junho de 2009, para o projeto de um aterro nesta região.

Este material foi parte do material usado na tese de doutorado intitulada “Análise dos Recalques de um Aterro Sobre Solos Muito Moles da Barra da Tijuca – RJ” de Christiano Faria Teixeira, 2012.

O material encontrava-se em um amostrador Shelby na câmara úmida do Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente (LGMA) da PUC-Rio, mas infelizmente as vedações estavam soltas e o material tinha perdido umidade a um ponto que não permitia tirar corpos de prova porque o material se desmoronava.

Este material foi remoldado com adição de água até se obter uma massa homogênea e de consistência apropriada para preparar corpos de prova.

A caracterização deste material se resume na seguinte tabela:

Tabela 4.4 - Caracterização material usado nos ensaios Capítulo 4.

Característica	Valor	Unidade
Limite de liquidez (LL)	245,00	%
Limite de plasticidade (LP)	113,50	%
Índice de plasticidade (IP)	131,50	%
Teor de matéria orgânica	19,80%	%
Massa específica real dos grãos	2,39	g/cm ³
Fração granulométrica		
Argila (% peso)	23,50	%
Silte (% peso)	47,40	%
Areia (% peso)	29,10	%

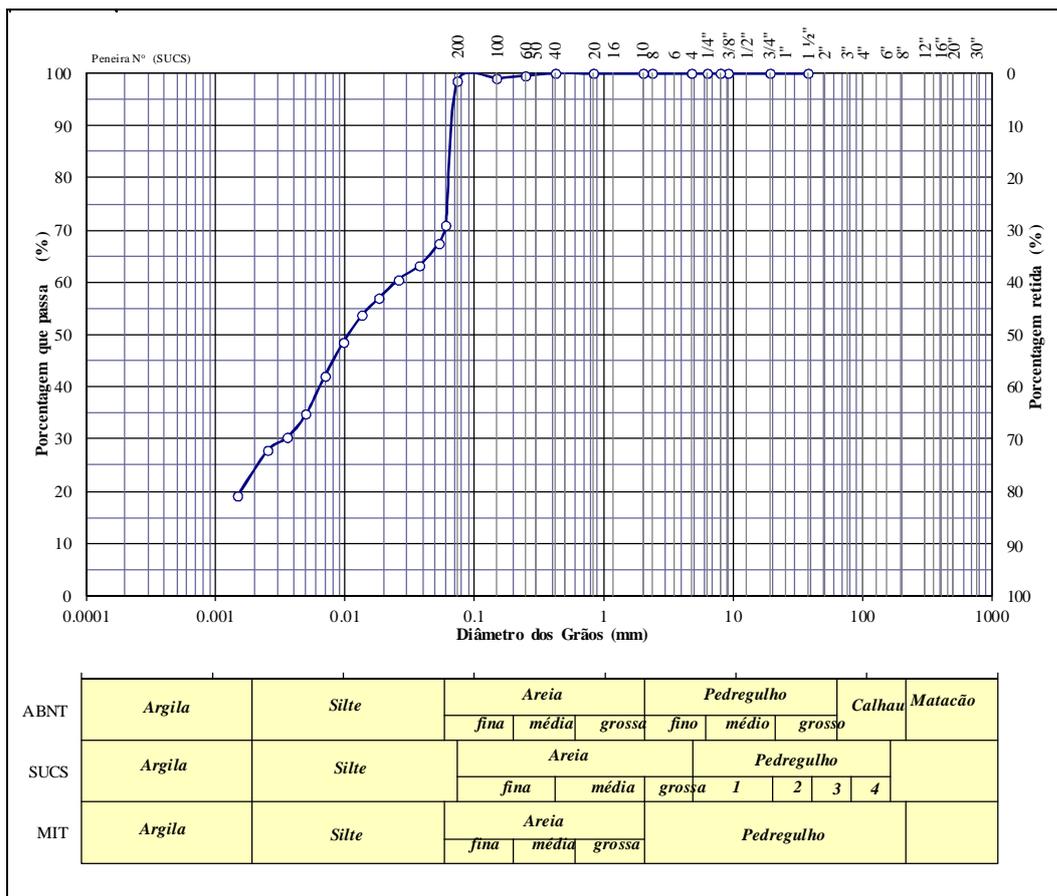


Figura 4.1 - Curva granulométrica do material usado nos ensaios Capítulo 4.

4.2.

Resultados ensaios de adensamento convencional na prensa tipo Bishop.

4.2.1.

Ensaio V-10 (Um estágio com vácuo)

O ensaio foi feito seguindo cada um dos passos descritos no capítulo 3. (item 3.1.3.).

As características iniciais e finais do material ensaiado são apresentadas na Tabela 4.5

Os estágios do 1 ao 6 foram feitos pelo procedimento convencional, obtendo-se curvas de porcentagem de deformação Vs. raiz quadrada de tempo típicas para este tipo de ensaio, ver

Figura 4.2.

Tabela 4.5 - Características iniciais e finais do material testado no ensaio V-10.

Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio Dissertação de Mestrado em Geotecnia Título: "Utilização de vácuo em laboratório para ensaios de adensamento com carregamento unidimensional e isotrópico para material remoldado" Ensaio adensamento com vácuo na prensa de adensamento		
ENSAIO No.	V-10	
<i>Caraterísticas material testado</i>		
Material:	Baixada de Jacarepaguá, RJ, AM. 705 -12.70m	
Data moldagem	19-ene-13	
Peso Específico da água	1.00	g/cm ³
Umidade Inicial (%)	201.13%	
Peso Específico Total	1.233	g/cm ³
Peso Específico dos Grãos	2.390	g/cm ³
Índice de Vazios Inicial	4.836	
Grau de Saturação (%)	99.41%	
Altura de Sólidos - Ho	0.3424	cm
Umidade Final (%)	114.00%	

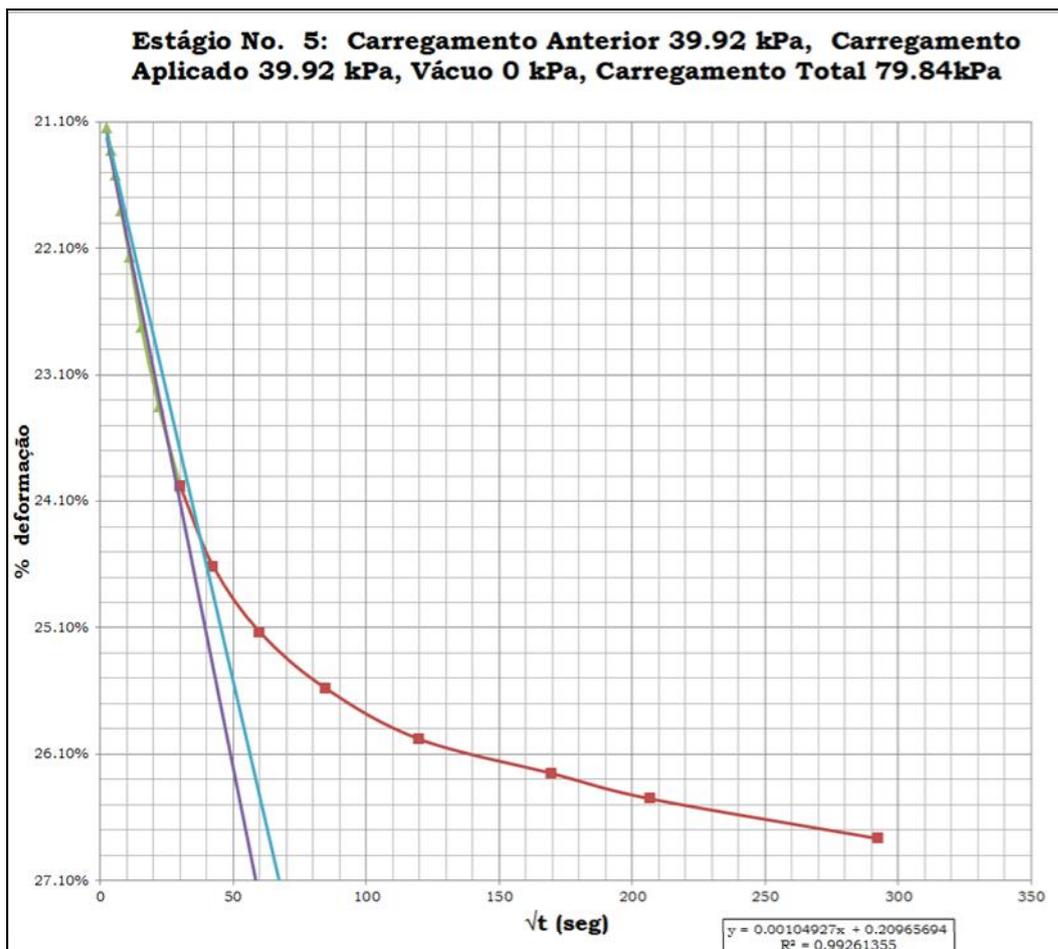


Figura 4.2 - Curva típica de % de deformação Vs. raiz quadrada de tempo para os estágios por carregamento convencional com pesos do ensaio No. V-10.

No estágio 7, com duração de 50 horas, se obteve a curva de porcentagem de deformação Vs. raiz quadrada de tempo, apresentada na Figura 4.3 Em vermelho a variação do vácuo ao longo do tempo.

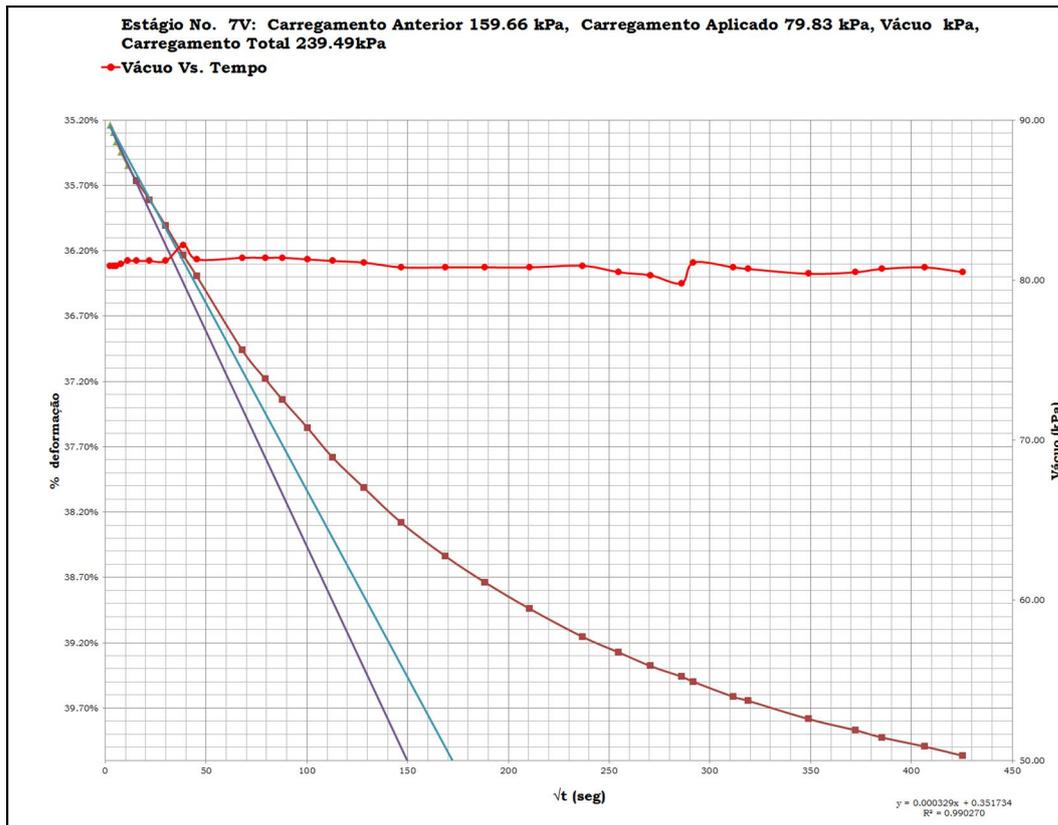


Figura 4.3 - Curva % deformação Vs. raiz quadrada de tempo para o estágio com vácuo do ensaio No. V-10.

Na Tabela 4.6 se apresentam os resultados obtidos nos estágios do ensaio V-10.

Na Figura 4.4 se apresenta a curva de índice de vazios Vs. $\log \sigma'_v$ obtida no ensaio V-10.

Tabela 4.6 - Resultados dos estágios do ensaio V-10.

<p style="text-align: center;">Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio Dissertação de Mestrado em Geotecnia Título provisional: "Utilização de vácuo em ensaios de laboratório para material fabricado: carregamento unidimensional e isotrópico" Ensaio adensamento com vácuo na prensa de adensamento</p> <p style="text-align: center;">Resultado dos Estágios</p>													
Pressão de pré-adensamento		σ'_{vm} (kPa)		Parametros de compressibilidade				$k = \gamma_w \cdot m_v \cdot C_v$ γ_w 9.81 kN/m ³					
Casagrande		12.06		Cc	0.587								
Pacheco Silva		8.66		Cr	0.087								
Estágio de carga No.	Pressão kPa	Duração estágio (horas)	Recalque acumulado cm	Altura CP mm	Altura CP cm	Índice de Vazios	Cv - Taylor cm ² /seg	Cv - Casagrande cm ² /seg	Cv - Ajuste curva Tv Vs.U (%) cm ² /seg - V10, BJ (COM VÁCUO)	a _v (1 /kPa)	m _v (1 /kPa)	k (cm/s)	
	0.00		0.000	19.980	1.998	4.836	-	-	-				
C	1	3.74	15.767	0.105	18.935	1.894	4.531						
C	2	9.98	22.367	0.217	17.809	1.781	4.202	3.96E-04	3.13E-04	4.00E-04	0.053	0.010	3.74E-07
C	3	19.96	23.683	0.303	16.952	1.695	3.951	3.70E-04	2.68E-04	3.80E-04	0.025	0.005	1.80E-07
C	4	39.92	23.900	0.410	15.884	1.588	3.639	3.31E-04	3.53E-04	3.50E-04	0.016	0.003	1.08E-07
C	5	79.84	23.767	0.535	14.632	1.463	3.274	3.70E-04	3.09E-04	4.00E-04	0.009	0.002	7.75E-08
C	6	159.66	35.083	0.698	12.995	1.300	2.796	4.13E-04	3.88E-04	3.80E-04	0.006	0.001	5.22E-08
V	7V	239.49	50.283	0.800	11.975	1.198	2.498	9.70E-04		5.00E-04	0.004	0.001	4.82E-08
D	8	159.67	34.433	0.790	12.080	1.208	2.528						
C	9	239.49	24.250	0.819	11.788	1.179	2.443						
C	10	479.00	23.850	1.015	9.832	0.983	1.872	1.26E-03	1.42E-03	1.20E-03	0.002	0.001	8.16E-08
D	11	239.49	23.867	0.982	10.160	1.016	1.968						
D	12	79.84	25.583	0.923	10.745	1.075	2.138						

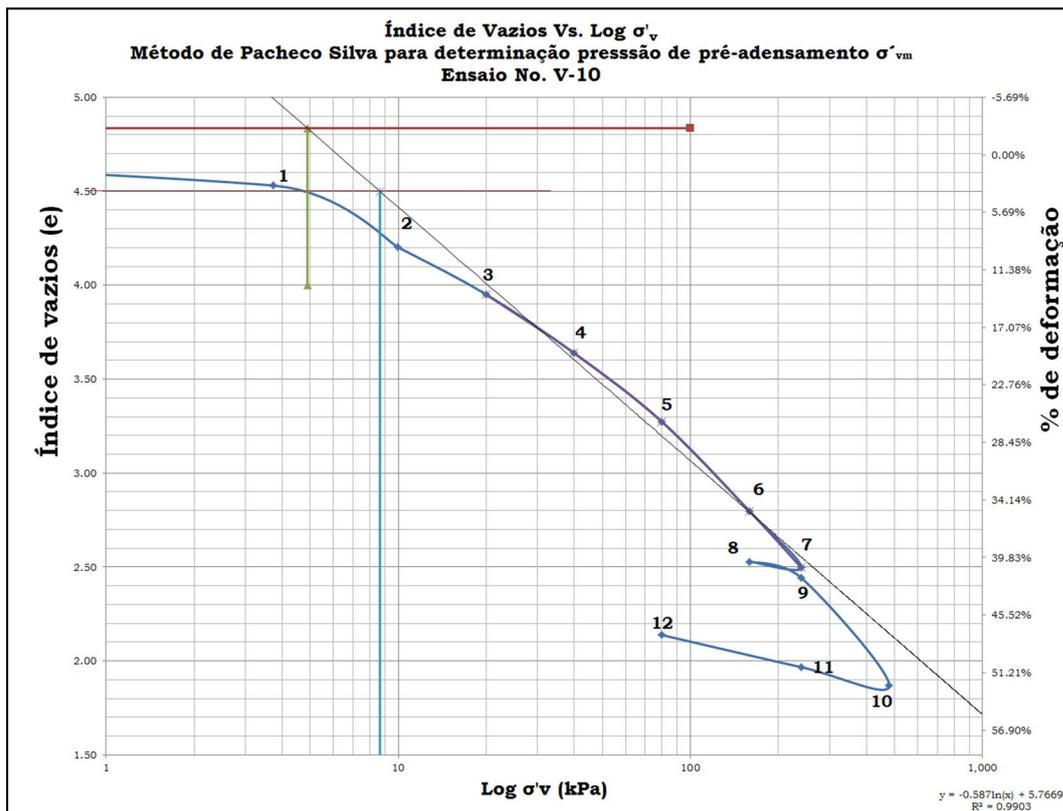


Figura 4.4 - Curva e Vs. Log σ'_v para o ensaio No. V-10.

4.2.2.

Ensaio V-11 (Todos os estágios carregamento convencional com pesos)

Este ensaio foi feito usando um oedômetro convencional seguindo todo o procedimento para um ensaio de adensamento convencional (de carregamento incremental com pesos) na prensa tipo Bishop.

Este ensaio foi feito para comparar os resultados obtidos em o oedômetro desenvolvido para ensaios usando vácuo com os resultados obtidos em um oedômetro convencional.

Na Tabela 4.7 se apresentam as características iniciais e finais e finais do material testado no ensaio No. V-11.

Na Tabela 4.8 se apresentam os resultados para cada um dos estágios do ensaio V-11 e na Figura 4.6 se apresenta a curva de índice de vazios Vs. log σ'_v obtida neste ensaio.



Figura 4.5 - Ensaio No. V-11, feito com um oedômetro convencional.

Tabela 4.7 - Características iniciais e finais do material testado no ensaio V-11.

Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio Dissertação de Mestrado em Geotecnia Título: "Utilização de vácuo em laboratório para ensaios de adensamento com carregamento unidimensional e isotrópico para material remoldado" Ensaio adensamento com vácuo na prensa de adensamento		
ENSAIO No.	V-11	
<i>Caraterísticas material testado</i>		
Material:	Baixada de Jacarepaguá, RJ, AM. 705 -12.70m	
Data moldagem	20-ene-13	
Peso Específico da água	1.00	g/cm ³
Umidade Inicial	200.15%	%
Peso Específico Total Inicial	1.249	g/cm ³
Peso Específico dos Grãos	2.390	g/cm ³
Índice de Vazios Inicial	4.742	
Grau de Saturação inicial	100.87%	%
Altura de Sólidos - H _o	0.3446	cm
Umidade Final	117.99%	%

Tabela 4.8 - Resultados dos estágios do ensaio V-11.

<p style="text-align: center;">Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio Dissertação de Mestrado em Geotecnia Título provisional: "Utilização de vácuo em ensaios de laboratório para material fabricado: carregamento unidimensional e isotrópico" Ensaio adensamento com vácuo na prensa de adensamento</p> <p style="text-align: center;">Resultado dos Estágios</p> <p style="text-align: right;"> <table border="1" style="display: inline-table;"> <tr> <td>ENSAIO No.</td> <td>V-11</td> </tr> </table> </p> <table border="1" style="display: inline-table; margin-right: 20px;"> <tr> <th colspan="2">Pressão de pré-adensamento</th> <th>σ'_{vm} (kPa)</th> </tr> <tr> <td colspan="2">Casagrande</td> <td>13.95</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Pacheco Silva</td> <td>10.48</td> </tr> </table> <table border="1" style="display: inline-table; margin-right: 20px;"> <tr> <th colspan="2">Parâmetros de compressibilidade</th> </tr> <tr> <td>Cc</td> <td>0.556</td> </tr> <tr> <td>Cr</td> <td>0.071</td> </tr> </table> <div style="display: inline-block; text-align: right;"> $k = \gamma_w \cdot m_v \cdot C_v$ <p>γ_w 9.81 kN/m³</p> </div>													ENSAIO No.	V-11	Pressão de pré-adensamento		σ'_{vm} (kPa)	Casagrande		13.95	Pacheco Silva		10.48	Parâmetros de compressibilidade		Cc	0.556	Cr	0.071
ENSAIO No.	V-11																												
Pressão de pré-adensamento		σ'_{vm} (kPa)																											
Casagrande		13.95																											
Pacheco Silva		10.48																											
Parâmetros de compressibilidade																													
Cc	0.556																												
Cr	0.071																												
Estágio de carga No.	Pressão kPa	Duração estágio (horas)	Recalque acumulado cm	Altura CP mm	Altura CP cm	Índice de Vazios	Cv - Taylor cm ² /seg	Cv - Casagrande cm ² /seg	Cv - Ajuste curva Tv Vs.U (%) cm ² /seg - V11, BJ (SEM VÁCUO)	a_v (1 /kPa)	m_v (1 /kPa)	k (cm/s)																	
	0.00		0.000	19.790	1.979	4.742	-	-	-																				
C	3.76	16.150	0.096	18.835	1.884	4.465																							
C	10.03	23.683	0.175	18.045	1.805	4.236	2.60E-04	2.20E-04	2.70E-04	0.037	0.007	1.77E-07																	
C	20.08	23.933	0.257	17.221	1.722	3.997	3.63E-04	2.44E-04	3.70E-04	0.024	0.005	1.65E-07																	
C	40.16	23.783	0.356	16.232	1.623	3.710	3.59E-04	2.82E-04	4.00E-04	0.014	0.003	1.12E-07																	
C	80.32	95.667	0.496	14.829	1.483	3.303	4.60E-04	2.87E-04	4.50E-04	0.010	0.002	9.50E-08																	
C	160.64	24.300	0.629	13.502	1.350	2.918	3.59E-04		4.00E-04	0.005	0.001	4.37E-08																	
C	240.96	23.817	0.733	12.457	1.246	2.614	5.46E-04		3.20E-04	0.004	0.001	3.02E-08																	
D	160.64	24.033	0.725	12.543	1.254	2.639																							
C	240.96	23.683	0.747	12.325	1.233	2.576																							
C	481.92	25.683	0.909	10.703	1.070	2.106	6.19E-04	2.45E-04	5.30E-04	0.002	0.001	2.84E-08																	
D	240.95	4.917	0.889	10.903	1.090	2.164																							
D	80.32	149.433	0.830	11.490	1.149	2.334																							

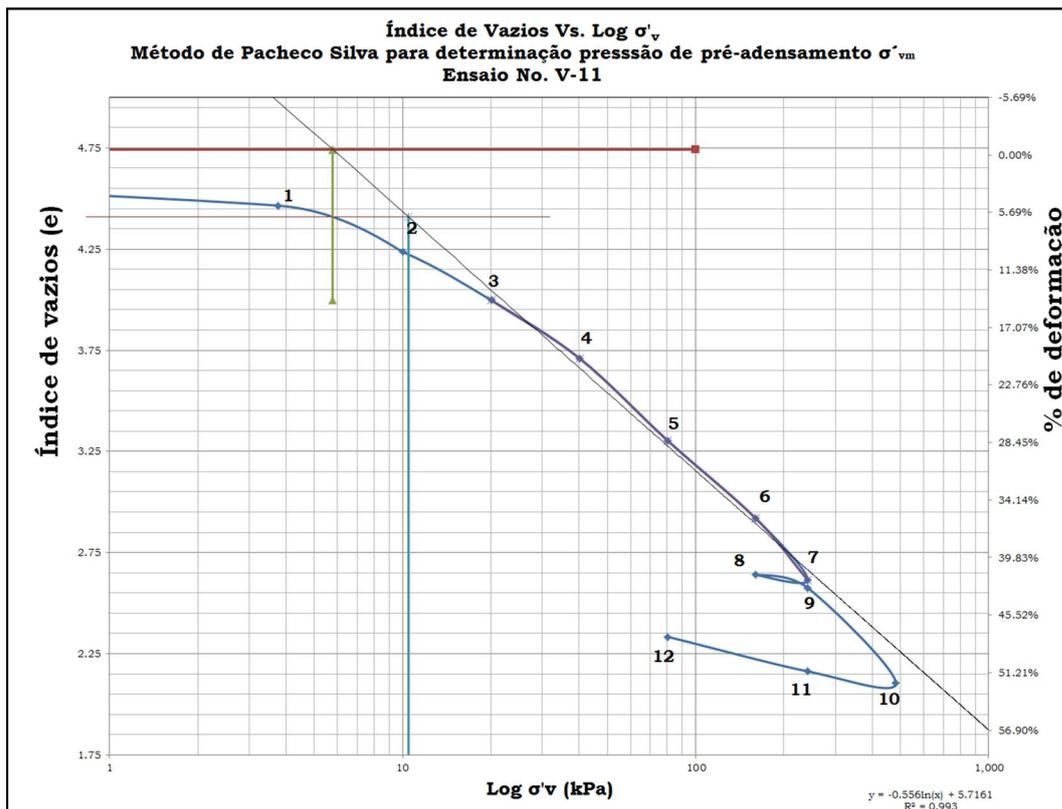


Figura 4.6 - Curva e Vs. Log σ'_v para o ensaio No. 11.

4.2.3.

Resultados ensaios de adensamento, isotrópico, na célula triaxial.

4.2.3.1.

Ensaio 1BJ, 3BJ, 5BJ (feitos sem vácuo)

Na Tabela 4.9, Tabela 4.10 e na Tabela 4.11 se apresentam as características iniciais e finais do material testado nos ensaios 1BJ, 3BJ e 5BJ respectivamente.

Tabela 4.9 - Características iniciais e finais do material testado no ensaio 1BJ.

Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio							
Dissertação de Mestrado em Geotecnia							
Título provisional: " Utilização de vácuo em ensaios de laboratório para material fabricado: carregamento unidimensional e isotropico"							
Variação Poropressão ao Longo do Tempo							
Vácuo aplicado em	SEM VÁCUO						
Poropressões medidas	TOPO						
					CÓD. ENSAIO	1 BJ	
					ENSAIO	19	
Material	Baixada de Jacarepaguá - Barra de Tijuca - RJ, AM. 705 -12,70m, material amassado						
Caraterísticas Iniciais			Caraterísticas Finais				
Umidade	198.42%		Umidade	125.620%	123.650%		
Diametro (cm)	3.800		Diametro (cm)	3.191	3.182		
Altura (cm)	2.900		Altura (cm)	1.190	1.307		
Volume (cm3)	32.89		Volume (cm3)	9.517	10.394		
Peso (g)	38.64		Peso (g)	11.800	13.620		
P. Especifico total (g/cm3)	1.175		P. Especifico total (g/cm3)	1.240	1.310		
Peso Especifico dos Grãos	2.3900	4.742238	Peso Especifico dos Grãos	2.390	2.390		
Índice de Vazios Inicial	4.974	5.0770034	Índice de Vazios final	3.349	3.079		
Grau de Saturação (%)	95.33%		Grau de Saturação (%)	89.650%	95.980%		
			Vs (mL)	2.188	2.548		
			Δvol (mL) por dif w	3.557	4.830		
Composição Inicial	Peso (g)	Vol (cm3)	Variação de Volume	Δvol (mL)	%	L. inicial	L. Final
Sólidos	12.95	5.42	Δvol (mL) por dif w	8.39	25.50%		
Água	25.69	25.69	Δvol (mL) por dif geo	12.98	39.46%	32.89	19.91
Ar	0.00	1.78	Δvol (mL) MVV C.P.	0.00	0.00%		
Saturação		93.52%	Δvol (mL) MVV câmara	10.69	32.51%	202.33	213.02
TENSÃO CONFINANTE	200	kPa	Observações:				
CONTRAPRESSÃO	0	kPa	Sistema bombeo da Tecnogeo				
						Data	10-oct-12

Tabela 4.10 - Características iniciais e finais do material testado no ensaio 3BJ.

Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio								
Dissertação de Mestrado em Geotecnia								
Título provisional: " Utilização de vácuo em ensaios de laboratório para material fabricado: carregamento unidimensional e isotropico"								
Variação Poropressão ao Longo do Tempo								
Vácuo aplicado em	SEM VÁCUO							
Poropressões medidas	TOPO							
				CÓD. ENSAIO	3 BJ			
				ENSAIO	20			
Material	Baixada de Jacarepaguá - Barra de Tijuca - RJ, AM. 705 -12.70m, material amassado							
Caraterísticas Iniciais			Caraterísticas Finais					
Umidade	201.10%		Umidade	Topo	2	Base		
Diametro (cm)	3.800		Diametro (cm)	121.940%	116.530%	118.680%		
Altura (cm)	4.530		Altura (cm)	3.175	3.120	3.263		
Volume (cm ³)	51.38		Volume (cm ³)	1.338	1.326	1.144		
Peso (g)	59.68		Peso (g)	10.593	10.138	9.566		
P. Especifico total (g/cm ³)	1.162		P. Especifico total (g/cm ³)	15.070	13.490	12.880		
Peso Especifico dos Grãos	2.3900		P. Especifico total (g/cm ³)	1.423	1.331	1.346		
Índice de Vazios Inicial	5.096		Peso Especifico dos Grãos	2.390	2.390	2.390		
Grau de Saturação (%)	94.31%		Índice de Vazios final	2.729	2.889	2.882		
			Grau de Saturação (%)	106.805%	96.400%	98.424%		
			Vs (mL)	2.841	2.607	2.464		
			Δvol (mL) por dif w	6.726	5.753	5.457		
Composição Inicial	Peso (g)	Vol (cm ³)	Variação de Volume	Δvol (mL)	%	L. inicial	L. Final	
Sólidos	19.82	8.29	Δvol (mL) por dif w	17.94	34.91%			
Água	39.86	39.86	Δvol (mL) por dif geo	21.08	41.03%	51.38	30.30	
Ar	0.00	3.22	Δvol (mL) MVV C.P.	0.00	0.00%			
Saturação		92.52%	Δvol (mL) MVV câmara	20.01	38.95%	194.30	214.31	
TENSÃO CONFINANTE	200	kPa	Observações: Sistema bombeo da Tecnogeo					
CONTRAPRESSÃO	0	kPa						
						Data	12-oct-12	

Na Figura 4.7 se apresentam as curvas de Poro pressão (kPa) Vs. tempo (hora) obtidas nos ensaios 1BJ, 3BJ e 5BJ.

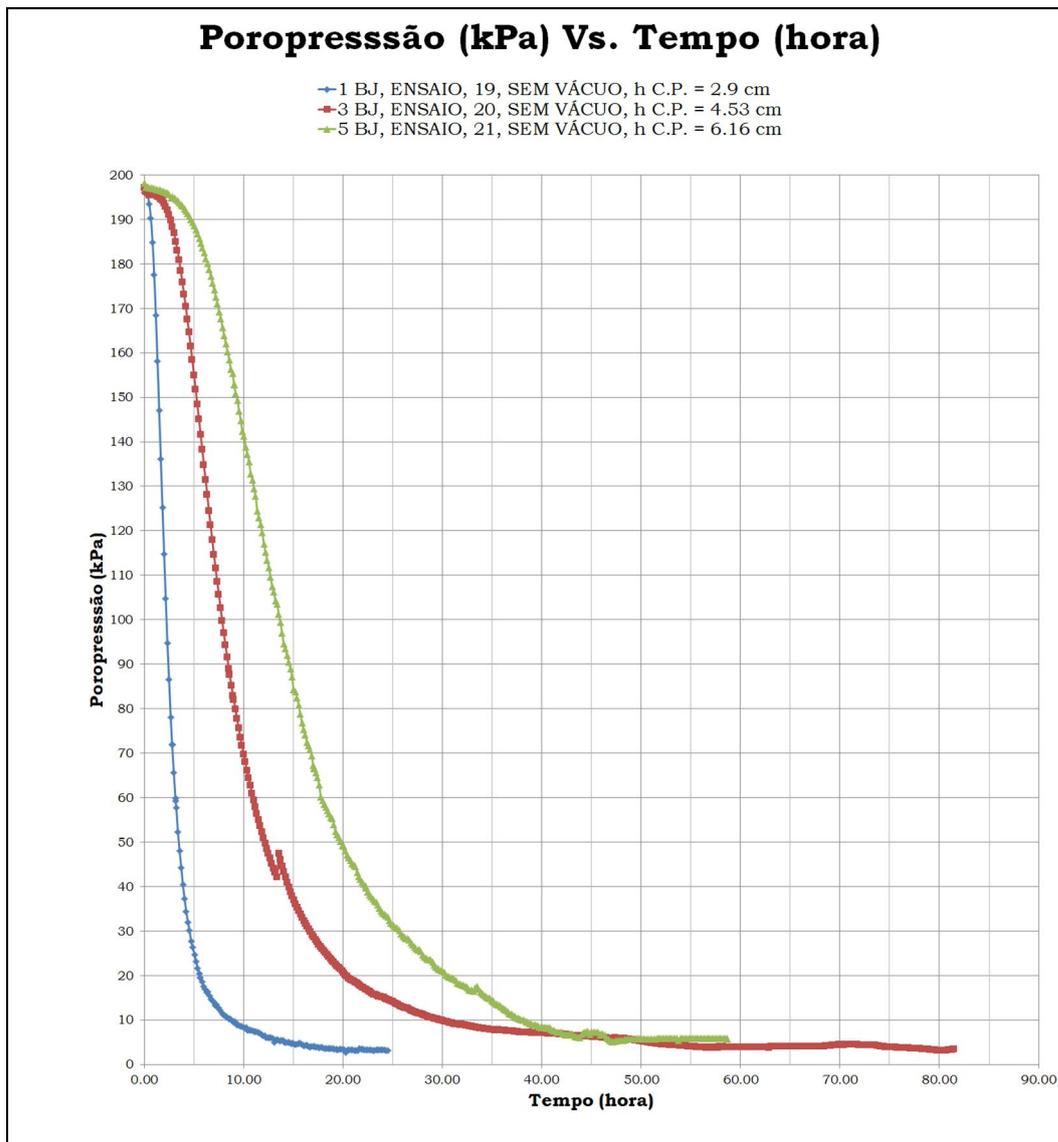


Figura 4.7 - Curvas de Poro pressão (kPa) Vs. tempo (hora) obtidas nos ensaios 1BJ, 3BJ e 5BJ.

4.2.3.2. Ensaio 2BJ, 4BJ, 6BJ (feitos com vácuo)

Na Tabela 4.12, Tabela 4.13 e Tabela 4.14 se apresentam as características iniciais e finais do material testado nos ensaios 2BJ, 4BJ e 6BJ, respectivamente.

Na Figura 4.8 se apresentam as curvas de Poro pressão (kPa) Vs. tempo (hora) obtidas nos ensaios 2BJ, 4BJ e 6BJ.

Tabela 4.12 - Características iniciais e finais do material testado no ensaio 2BJ.

Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio							
Dissertação de Mestrado em Geotecnia							
Título provisional: " Utilização de vácuo em ensaios de laboratório para material fabricado: carregamento unidimensional e isotropico"							
Variação Poropressão ao Longo do Tempo							
Vácuo aplicado em	NA BASE DO C.P.						
Poropressões medidas	TOPO						
					CÓD. ENSAIO	2 BJ	
					ENSAIO	22	
Material	Baixada de Jacarepaguá - Barra de Tijuca - RJ, AM. 705 -12.70m, material amassado						
Caraterísticas Iniciais			Caraterísticas Finais				
				Topo	Base		
Umidade	203.53%		Umidade	127.120%	101.530%		
Diametro (cm)	3.800		Diametro (cm)	3.173	3.272		
Altura (cm)	2.970		Altura (cm)	1.201	1.169		
Volume (cm3)	33.68		Volume (cm3)	9.497	9.829		
Peso (g)	39.11		Peso (g)	13.900	11.830		
P. Especifico total (g/cm3)	1.161		P. Especifico total (g/cm3)	1.464	1.204		
Peso Especifico dos Grãos	2.3900		Peso Especifico dos Grãos	2.390	2.390		
Índice de Vazios Inicial	5.148		Índice de Vazios final	2.709	3.002		
Grau de Saturação (%)	94.49%		Grau de Saturação (%)	112.167%	80.830%		
			Vs (mL)	2.561	2.456		
			Δvol (mL) por dif w	6.247	5.271		
Composição Inicial	Peso (g)	Vol (cm3)	Variação de Volume	Δvol (mL)	%	L. inicial	L. Final
Sólidos	12.89	5.39	Δvol (mL) por dif w	11.52	34.19%		
Água	26.22	26.22	Δvol (mL) por dif geo	14.36	42.62%	33.68	19.33
Ar	0.00	2.07	Δvol (mL) MVV C.P.	0.00	0.00%		
Saturação		92.69%	Δvol (mL) MVV câmara	13.97	41.47%	183.78	197.75
TENSÃO CONFINANTE	200	kPa	Observações:				
CONTRAPRESSÃO	0	kPa	Sistema bombeo da Tecnogeo				
						Data	20-oct-12

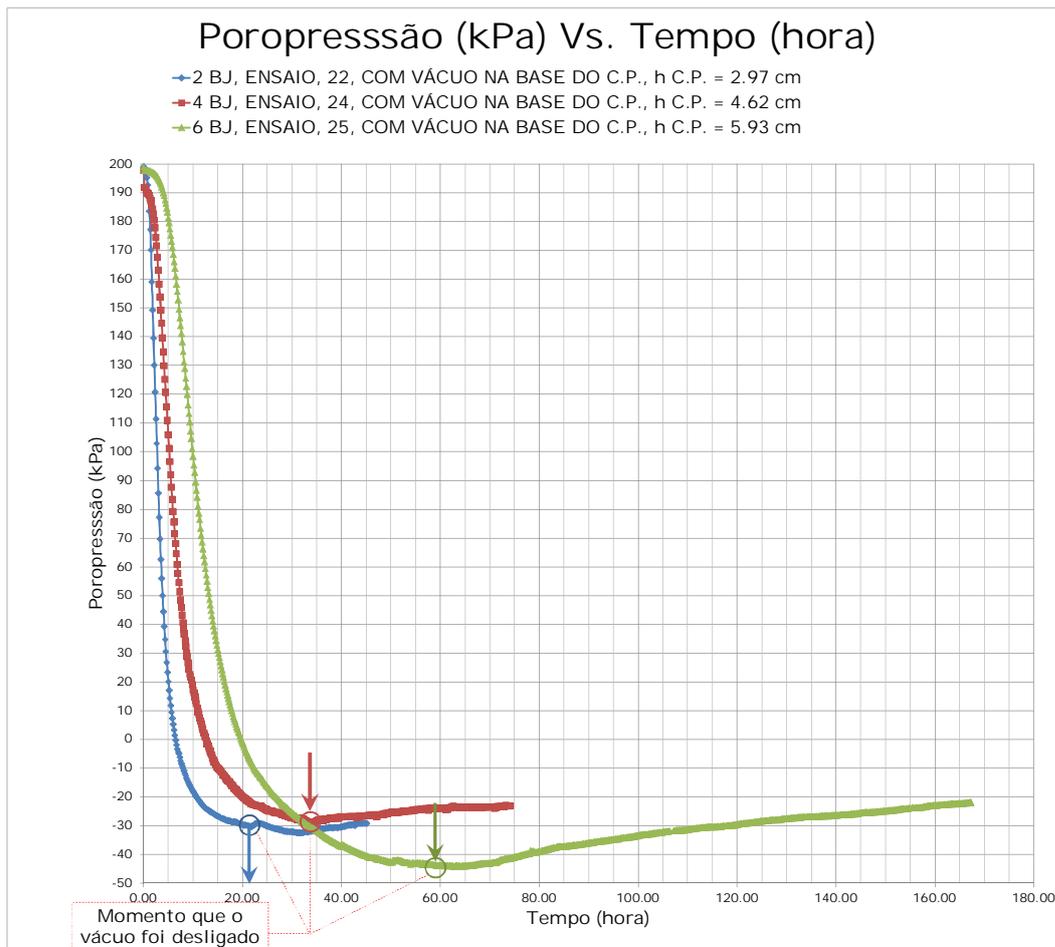


Figura 4.8 - Curvas de Poro pressão (kPa) Vs. tempo (hora) obtidas nos ensaios 2BJ, 4BJ e 6BJ.

4.2.3.3.

Ensaio 7BJ (feito numa primeira etapa sem vácuo e na segunda etapa com vácuo).

Na Tabela 4.15 se apresentam as características iniciais e finais do material testado no ensaio 7BJ.

Na Figura 4.9 se apresenta a curva de Poro pressão (kPa) Vs. tempo (hora) obtida no ensaio 7BJ comparada com as correspondentes curvas obtidas nos ensaios 5BJ e 6BJ.

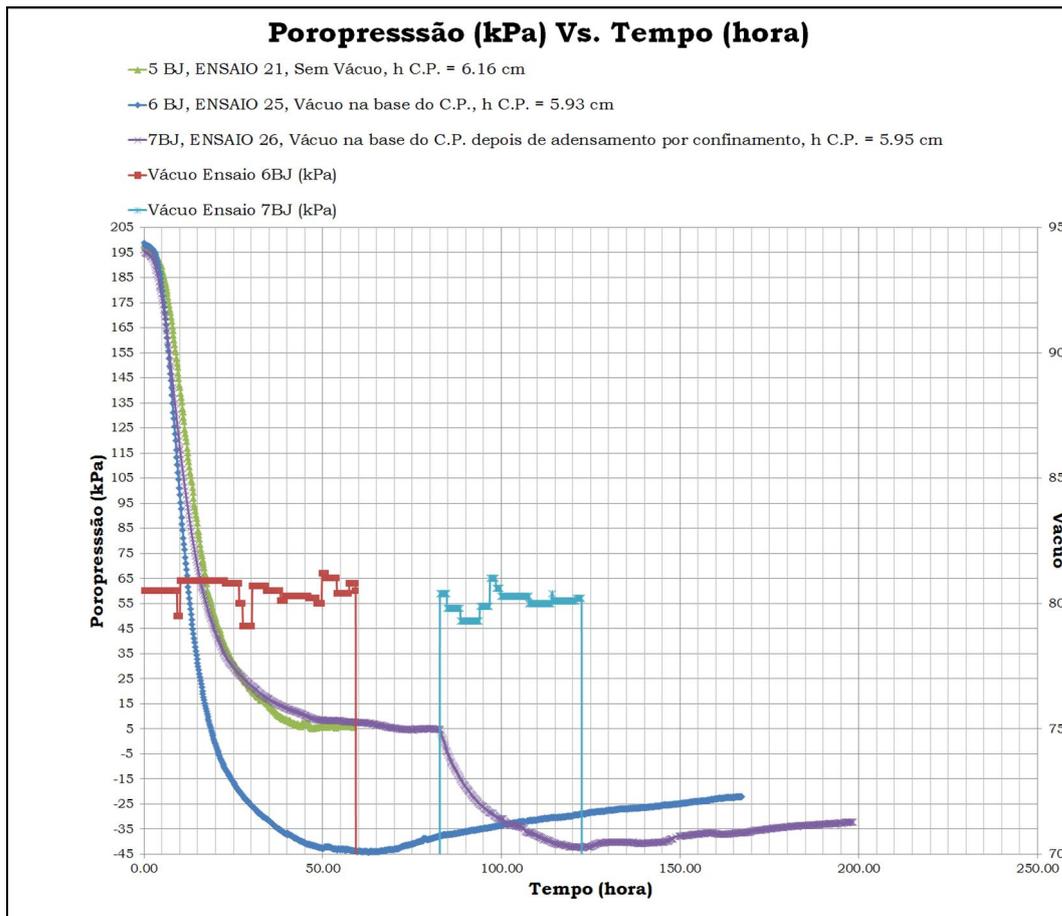


Figura 4.9 - Curva de Poro pressão (kPa) Vs. tempo (hora) obtida no ensaio 7BJ comparada com as correspondentes curvas obtidas nos ensaios 5BJ e 6BJ.