

5

Análises dos Resultados

Neste capítulo se apresentam análises feitas aos resultados apresentados no capítulo 4.

5.1.

Ensaio de adensamento convencional na prensa tipo Bishop.

5.1.1. Comparação dos resultados estágio com vácuo Vs. estágio sem vácuo.

Na Figura 5.1 se apresenta uma comparação, das curvas de porcentagem de deformação Vs. raiz quadrada de tempo, obtidas no estágio No.7, dos ensaios 10 e 11. Estas curvas são plotadas calculando as porcentagens de deformação usando com h_0 (altura inicial) a altura do cada corpo de prova ao começo do estágio em cada um dos ensaios. Levando-se em conta que as porcentagens de deformação acumuladas no começo deste estágio em cada ensaio, são diferentes. Este fato pode ser explicado porque os dois corpos de prova apresentam mínimas diferenças em cada um das características iniciais (umidade, altura, índice de vazios, etc.).

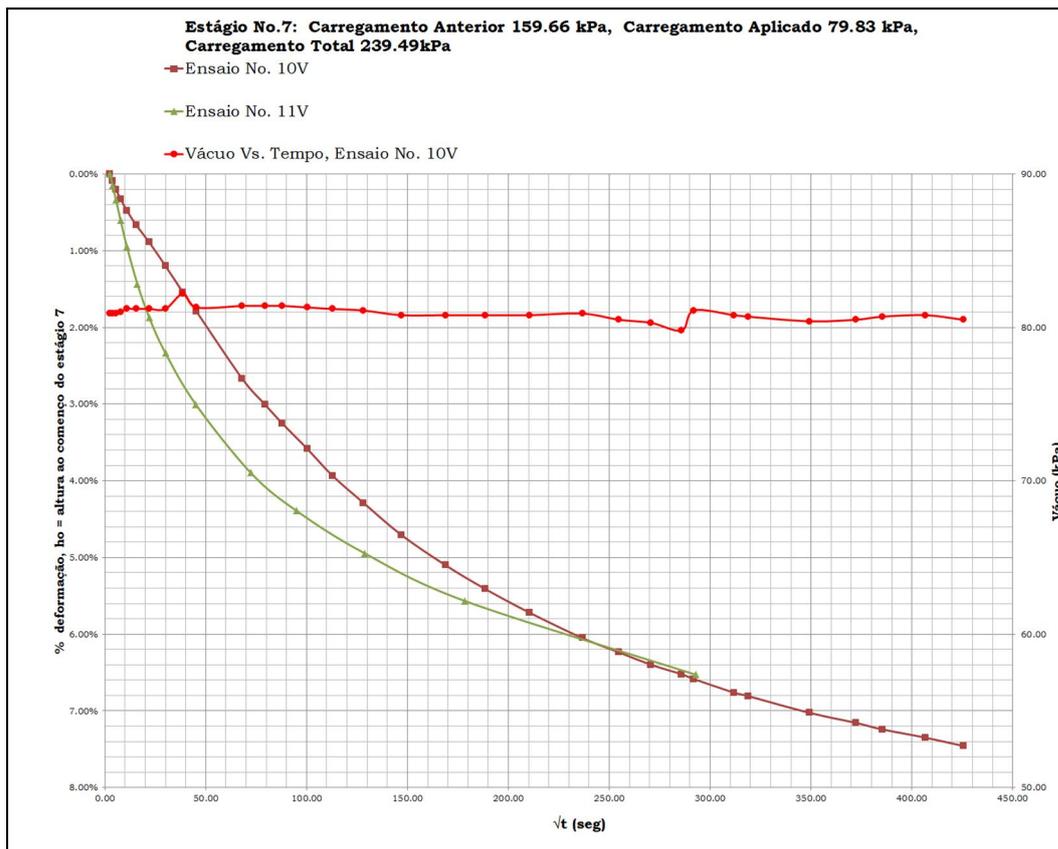


Figura 5.1 - Comparação curvas, % deformação (h_0 = altura inicial no estágio) Vs. raiz quadrada do tempo, obtidas no estágio 7 dos ensaios No. 10. e No. 11.

A curva do estágio feito com vácuo apresenta em muitos tempos, porcentagens de deformação inferiores às obtidas na curva do estágio feito com a mesma pressão mas com pesos (método convencional de carregamento), até que as duas curvas chegam a um ponto, no qual os recalques são similares para o mesmo tempo. Neste caso, isto acontece depois de $(270\text{seg})^2 = 20\text{horas e } 15\text{minutos}$, na fase de compressão secundária onde as duas curvas apresentam uma inclinação bastante similar.

Este fato também pode ser observado nos resultados dos ensaios teste (apresentados no capítulo 3), ver Figura 5.2. Estes ensaios foram feitos com um material que possui um c_v menor ($8 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{seg}$). Mas quando foi feito este ensaio não se tinha a tecnologia para manter o vácuo por mais tempo o que não permitiu levar as curvas até o ponto em que elas se encontram. O fato de que este ponto seja diferente nestes dois materiais pode ser explicado pela diferença evidente nos c_v .

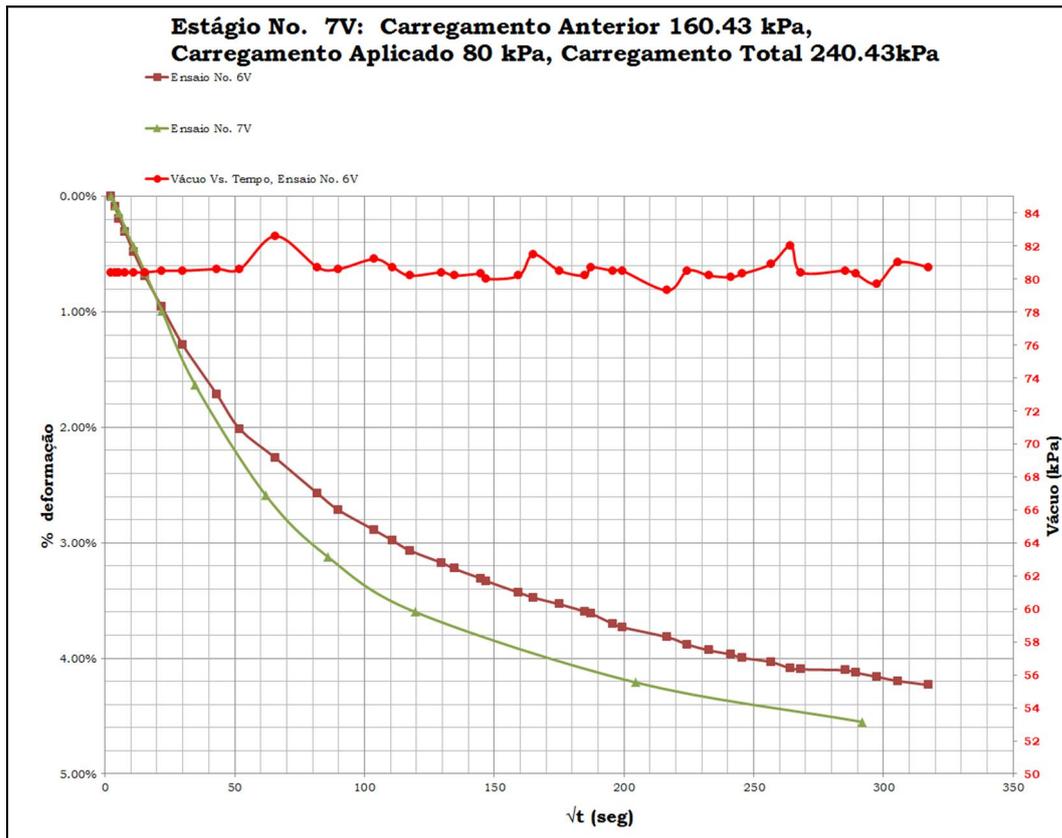


Figura 5.2 - Comparação curvas, % deformação (h_0 = altura inicial no estágio) Vs. raiz quadrada do tempo, obtidas no estágio 7 dos ensaios No. 6. e No. 7.

Na Figura 5.3 pode-se observar a curva de $U(\%)$ Vs. T_v (porcentagem de adensamento Vs. fator tempo) calculada com os resultados obtidos no estágio 7 do ensaio V-10, feito com vácuo. É evidente que o comportamento deste estágio de adensamento é regido pela curva de adensamento unidimensional.

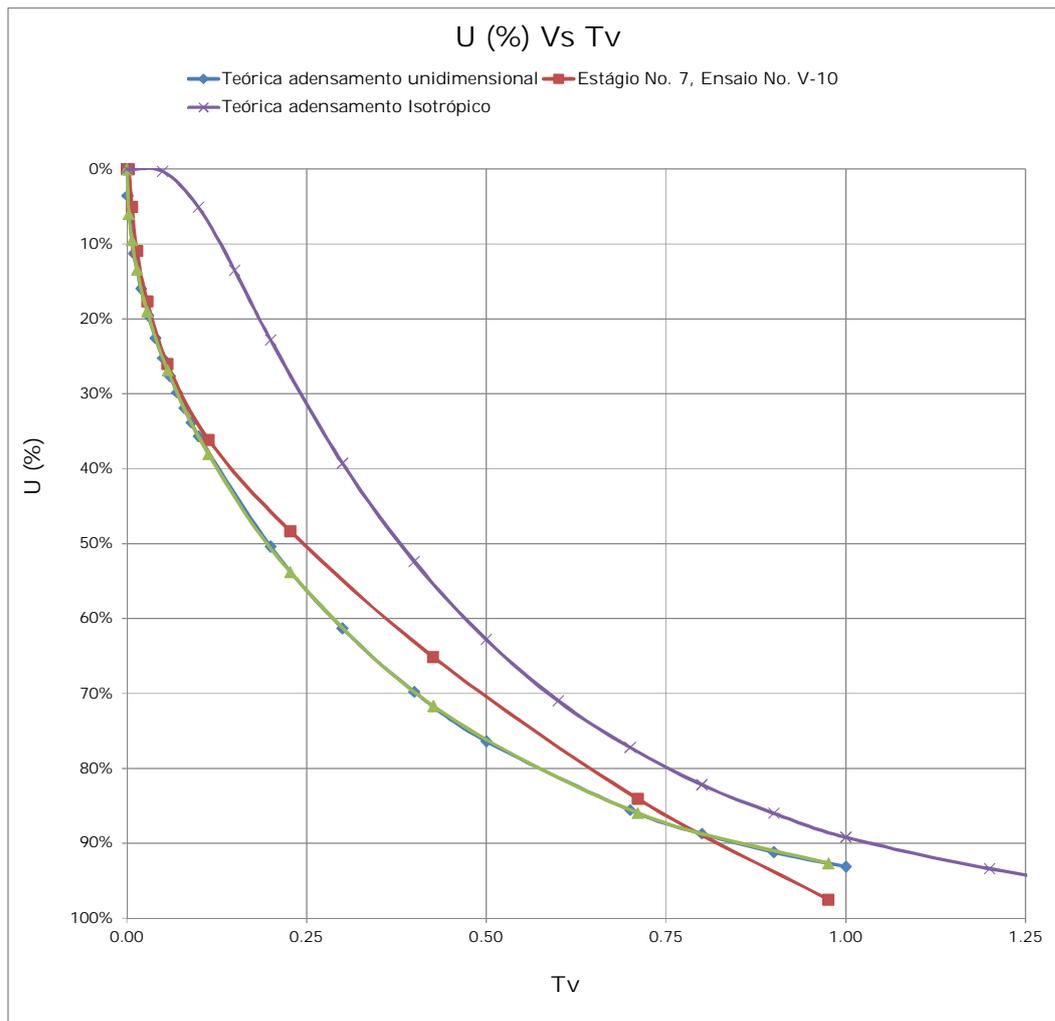


Figura 5.3 - Curva $U(\%)$ Vs. T_v , calculada com os resultados obtidos no estágio 7, do ensaio V-10.

Neste momento é claro que a aplicação de vácuo produz recalque como a aplicação de carregamento, sai água da amostra e se registram recalques, pode-se então chamar, aos estágios feitos como o estágio 7 do ensaio V-10, de estágios de carregamento com vácuo.

Na Tabela 5.1 se observa que o coeficiente de adensamento (c_v) obtido no estágio 7 em um ensaio com vácuo é 2.50 vezes maior que o obtido em um ensaio sem vácuo, nos ensaios feitos com o material dos ensaios teste (material da Baía de Guanabara) e 1.56 vezes maior no material da Baixada de Jacarapaguá. Na Tabela 5.2 se apresenta o correspondente para o estágio 10.

No estágio com vácuo se considerou uma fase de drenagem e no estágio sem vácuo se consideraram duas fases de drenagem.

Caso se tivessem considerado duas fases de drenagem no cálculo do coeficiente de adensamento no estágio com vácuo a relação com o correspondente em um estágio sem vácuo se aproxima mais a 1, mas esta consideração deve ser objeto de um análise profundo porque o mais logico é considerar que durante este estágio não há drenagem pelo topo, somente pela base.

Tabela 5.1 – Cálculo relação entre c_v obtido no estágio 7 com vácuo e no estágio 7 feito sem vácuo.

Estágio 7

No. Ensaio	Vácuo	c_v (cm/s ²) Taylor	c_v (cm/s ²) Comparação	Relação	
				Taylor	Comparação
6to	Com vácuo	3.85E-04	2.00E-04	3.62	2.50
7mo	Sem vácuo	1.06E-04	8.00E-05		
10mo	Com vácuo	9.70E-04	5.00E-04	1.78	1.56
11ero	Sem vácuo	5.46E-04	3.20E-04		

Tabela 5.2 - Cálculo relação entre c_v obtido no estágio 10 com vácuo e no estágio 10 feito sem vácuo.

Estágio 10

No. Ensaio	Vácuo	c_v (cm/s ²) Taylor	c_v (cm/s ²) Comparação	Relação	
				Taylor	Comparação
6to	Com vácuo	7.95E-04	8.00E-04	4.12	4.00
7mo	Sem vácuo	1.93E-04	2.00E-04		
10mo	Com vácuo	1.26E-03	1.20E-03	2.04	2.26
11ero	Sem vácuo	6.19E-04	5.30E-04		

Nas Figura 5.4 e Figura 5.5 se apresentam a comparação das curvas coeficiente de adensamento (c_v) Vs. logaritmo de tensão vertical para ensaios feitos com vácuo e sem vácuo.

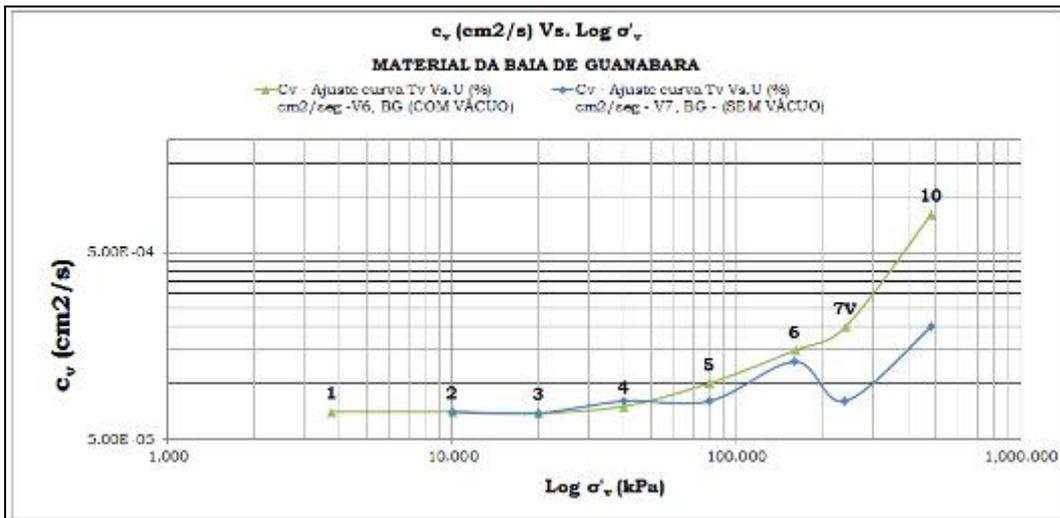


Figura 5.4 - c_v (cm^2/s) vs. $\log \sigma'_v$ (kPa) para os ensaios teste feitos com material da Baía de Guanabara

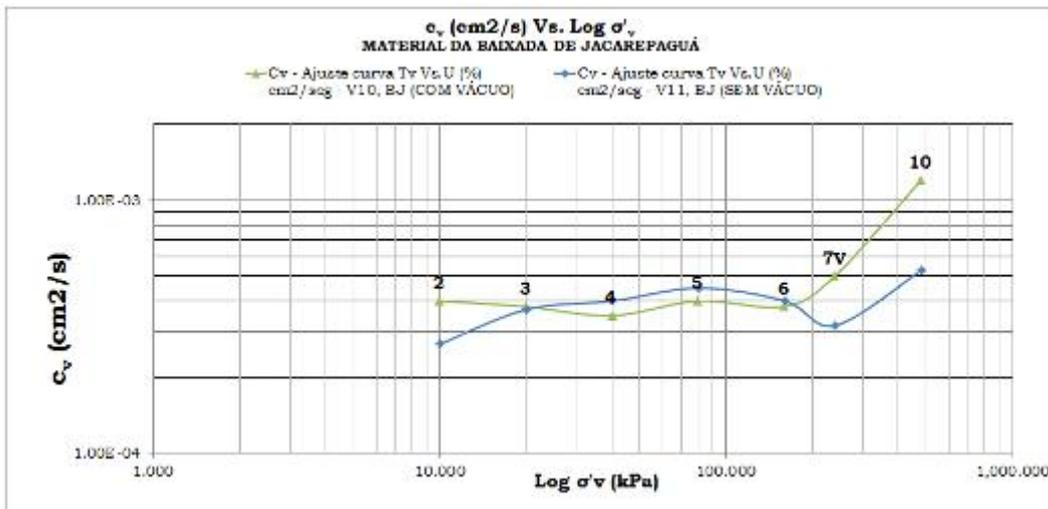


Figura 5.5 - c_v (cm^2/s) vs. $\log \sigma'_v$ (kPa) para os ensaios teste feitos com material da Baixada de Jacarepaguá

5.1.2.

Comparação das curvas índice de vazios (e) Vs. $\log \sigma'_v$ do ensaio V-10 e do ensaio V-11.

A Figura 5.6 se apresenta as curvas de e Vs. $\log \sigma'_v$ obtidas nos ensaios No. V-10. e No. V-11.

Pode se observar que as duas curvas são muito parecidas. As pequenas diferenças que se apresentam podem ser explicadas pelo fato de que há pequenas diferenças nas características iniciais dos corpos de prova de cada um dos ensaios.

É evidente que o estágio 7, feito com vácuo, tem no final do estágio um comportamento similar ao obtido no mesmo estágio feito com carregamento convencional com pesos.

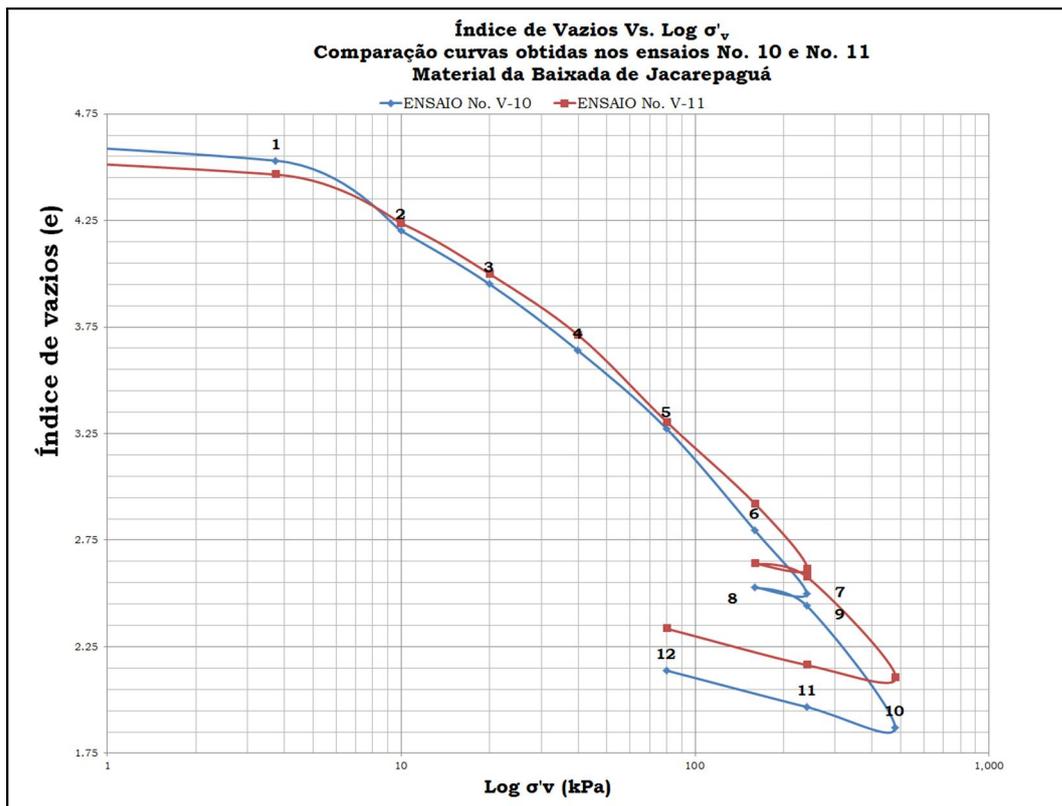


Figura 5.6 - Comparação curvas e Vs. Log σ'_v obtidas nos ensaios No. 10. e No. 11.

5.2.

Ensaio de adensamento isotrópico, na célula triaxial.

5.2.1.

Cálculo do coeficiente de adensamento para cada um dos ensaios

A Figura 5.7, Figura 5.8, Figura 5.9, Figura 5.10, Figura 5.11 e Figura 5.12 apresentam as curvas $U(\%)$ Vs. T_v (porcentagem de adensamento Vs. fator tempo) calculadas com os resultados obtidos nos ensaios 1BJ, 3BJ, 5BJ, 2BJ, 4BJ, 6BJ respectivamente. É evidente que o comportamento deste estágio de adensamento é regido pela curva de adensamento isotrópico.

Os valores de c_v obtidos correspondem a valores similares aos obtidos em estágios convencionais dos ensaios de adensamento na prensa tipo Bishop de ao redor de $4.00 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{s}$.

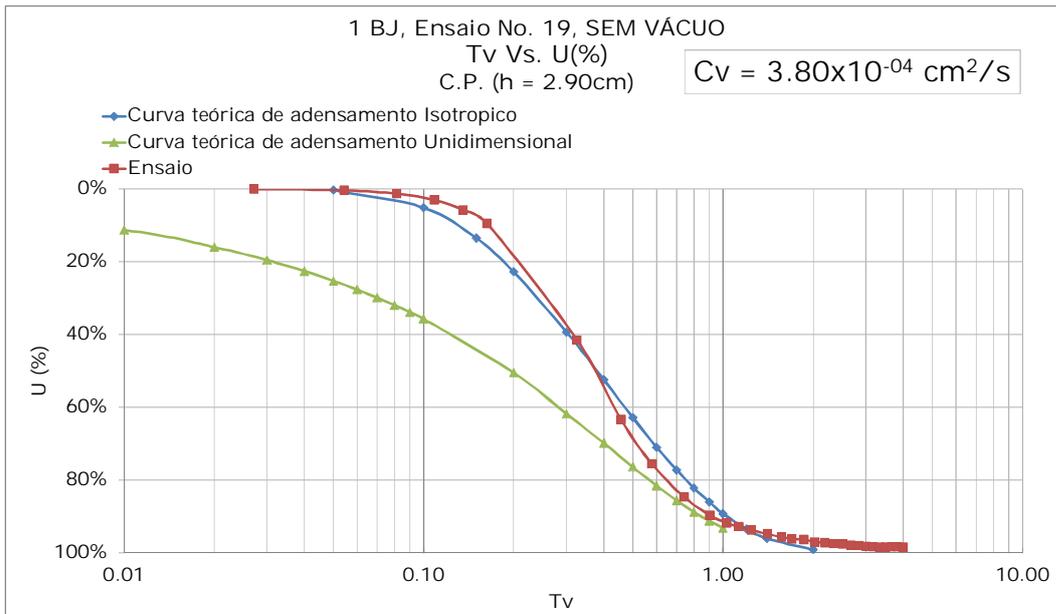


Figura 5.7 - Curva U(%) Vs. Tv. para o cálculo do c_v do material testado no ensaio 1BJ.

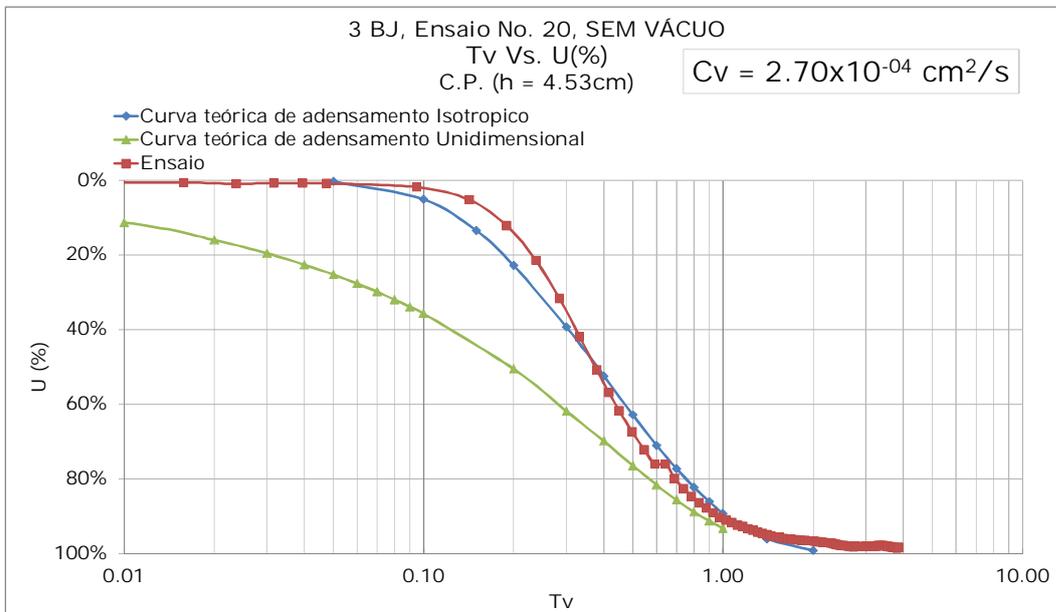


Figura 5.8 - Curva U(%) Vs. Tv. para o cálculo do c_v do material testado no ensaio 3BJ.

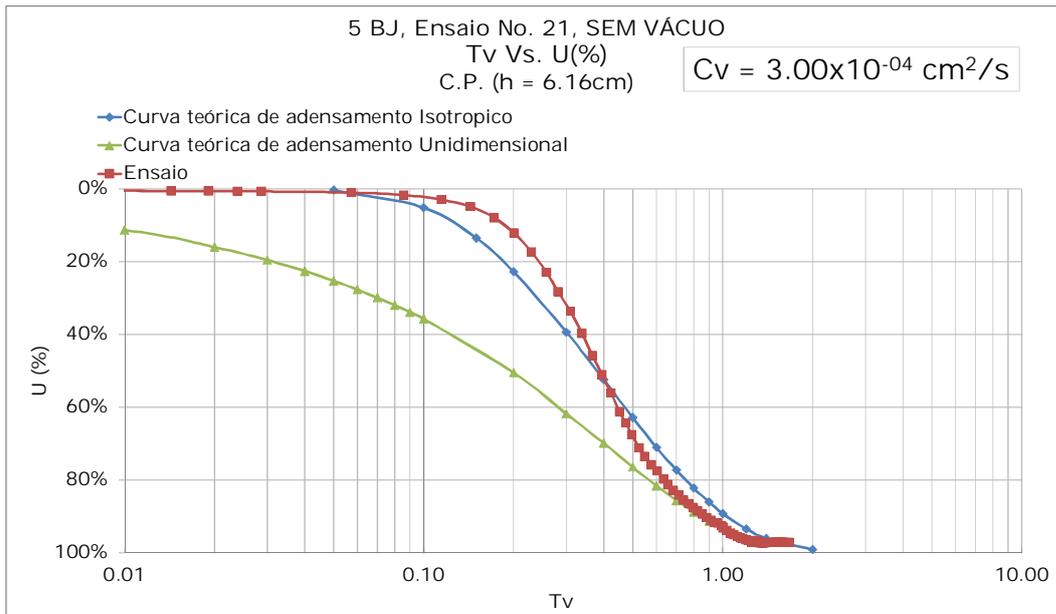


Figura 5.9 - Curva U(%) Vs. Tv. para o cálculo do c_v do material testado no ensaio 5BJ.

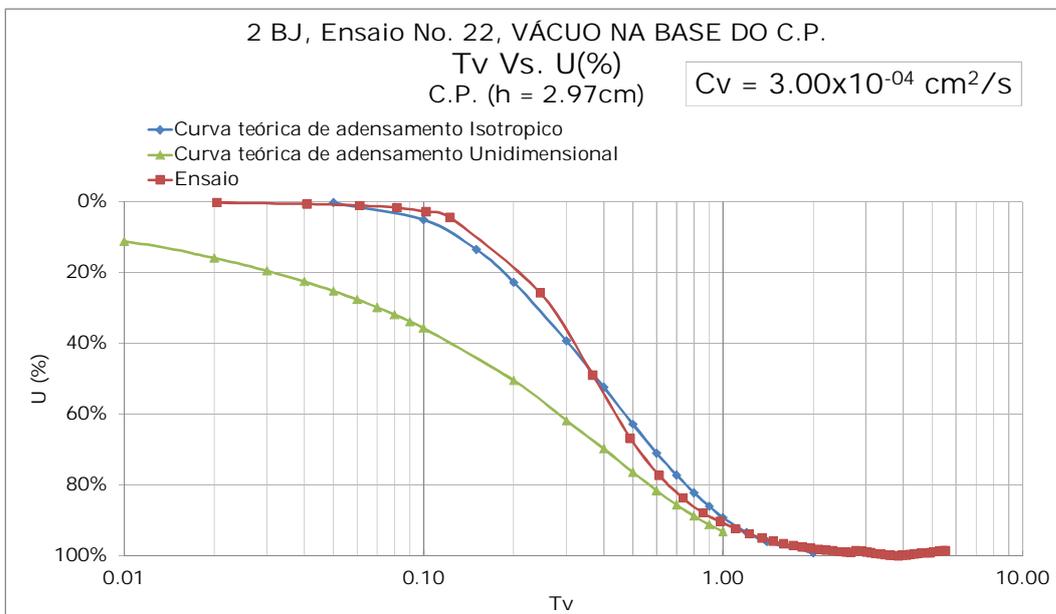


Figura 5.10 - Curva U(%) Vs. Tv. para o cálculo do c_v do material testado no ensaio 2BJ.

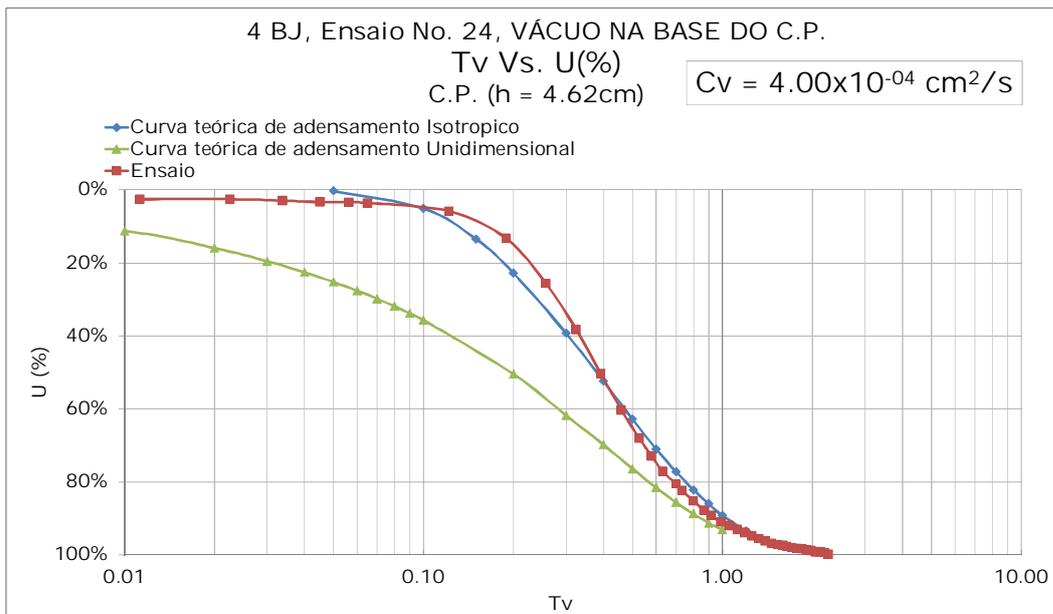


Figura 5.11 - Curva U(%) Vs. Tv. para o cálculo do c_v do material testado no ensaio 4BJ.

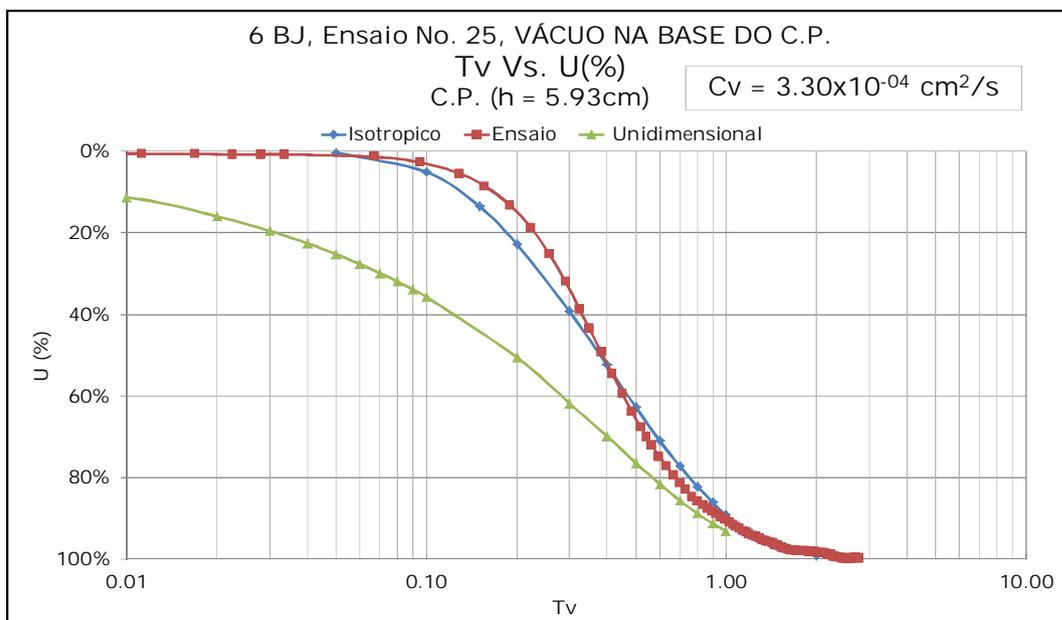


Figura 5.12 - Curva U(%) Vs. Tv. para o cálculo do c_v do material testado no ensaio 6BJ.

5.2.2.

Comparação dos resultados obtidos nos ensaios com vácuo com os ensaios sem vácuo.

Na Figura 5.13 apresenta-se em um gráfico as curvas de Poro pressão (kPa) Vs. tempo (hora) obtidas nos ensaios 2BJ e 1BJ, feitos com C.P. de 2.90cm de altura.

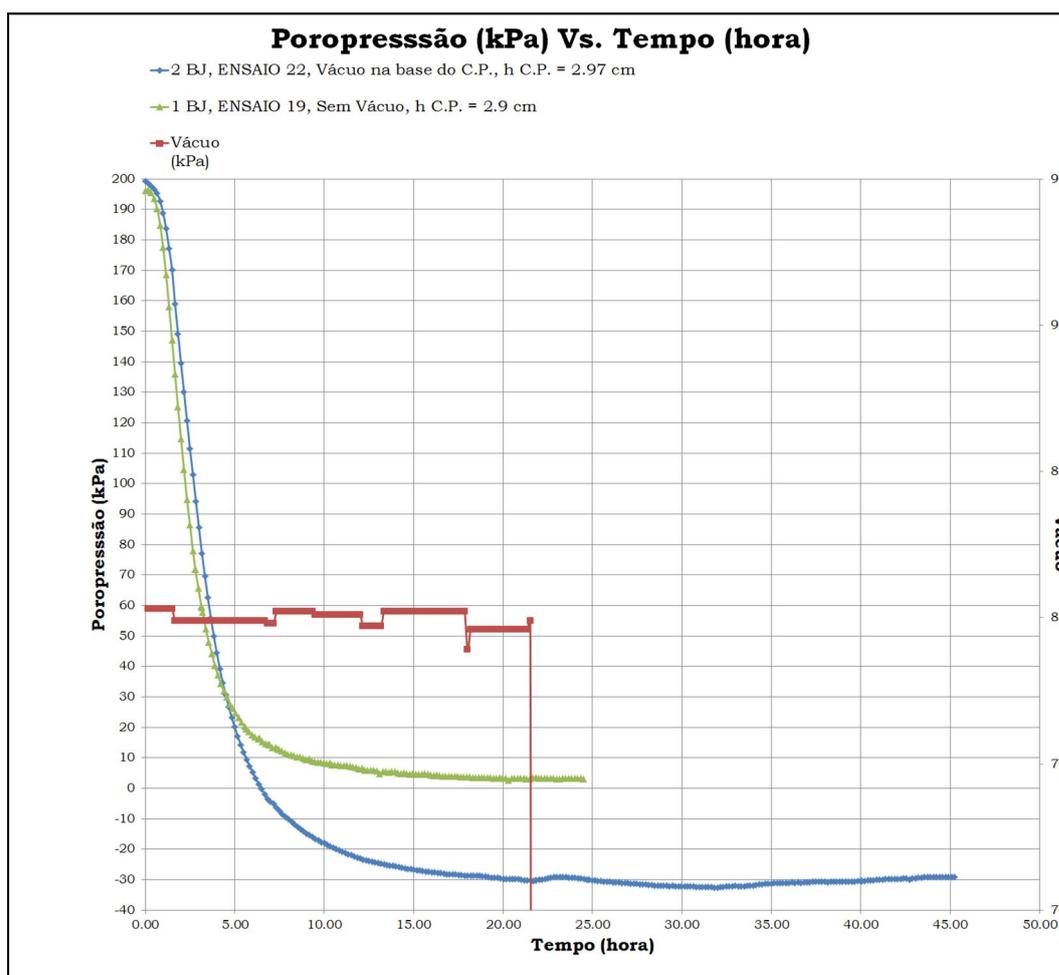


Figura 5.13 - Comparação curvas de Poro pressão (kPa) Vs. tempo (hora) obtidas nos ensaios 2BJ e 1BJ, feitos com C.P. de 2.90cm de altura.

Pode-se observar que as duas curvas são bastante parecidas até certo ponto, neste caso até pouco antes de 5 horas. Antes deste ponto a diferença pode ser explicada pelo fato que as características iniciais, dos dois corpos de prova apresentam pequenas diferenças. Por exemplo, há uma diferença de 7mm na altura. Depois deste ponto a curva sem vácuo começa a estabilizar-se enquanto a curva do ensaio com vácuo continua descendo até que se estabiliza em uma pressão de -30kPa.

A Figura 5.14 apresenta as curvas de porcentagem de variação volumétrica Vs. tempo, obtidas nos ensaios 2BJ e 1BJ, O ensaio 2BJ depois de 16 horas apresentou problemas na medição de variação de volume por um vazamento menor de água. Embora o sistema de medição de variação volumétrica tem muitas incertezas em sua precisão (ver item 3.2.2.2.) fornece resultados que tem um comportamento lógico, pois o ensaio com vácuo apresenta maiores deformações.

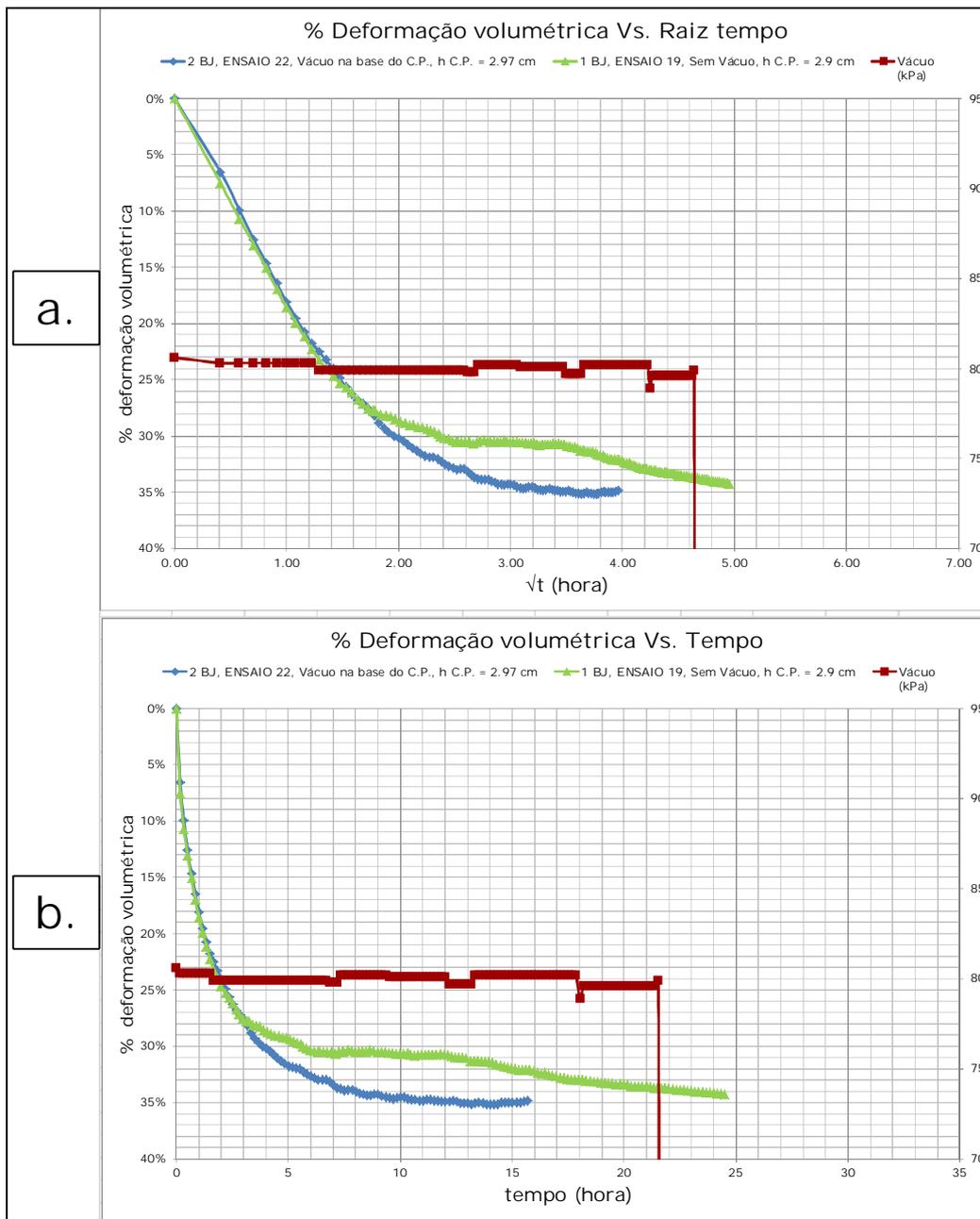


Figura 5.14 - Comparação curvas de % de deformação volumétrica Vs. tempo (hora), dos ensaios 2BJ e 1BJ.

1. Curvas de % de deformação volumétrica Vs. Raiz quadrada de tempo (hora)
2. Curvas de % de deformação volumétrica Vs. Tempo (hora)

Nestas curvas pode-se observar que as duas curvas são bastante similares até certo ponto. Neste caso, até 3 horas. Depois deste ponto a curva do ensaio sem vácuo começa a estabilizar enquanto que a curva onde é utilizado o vácuo desce mais até se estabilizar. Após de um tempo de 7.5 horas a curva do ensaio sem vácuo desce mais, fato que pode ser produzido pelas incertezas que se têm no sistema de medição de variação de volume.

As mesmas observações podem ser feitas nos ensaios feitos para corpos de prova de 4.50cm e de 5.95cm de altura. Os correspondentes gráficos são apresentados na Figura 5.15, Figura 5.16, Figura 5.17 e Figura 5.18.

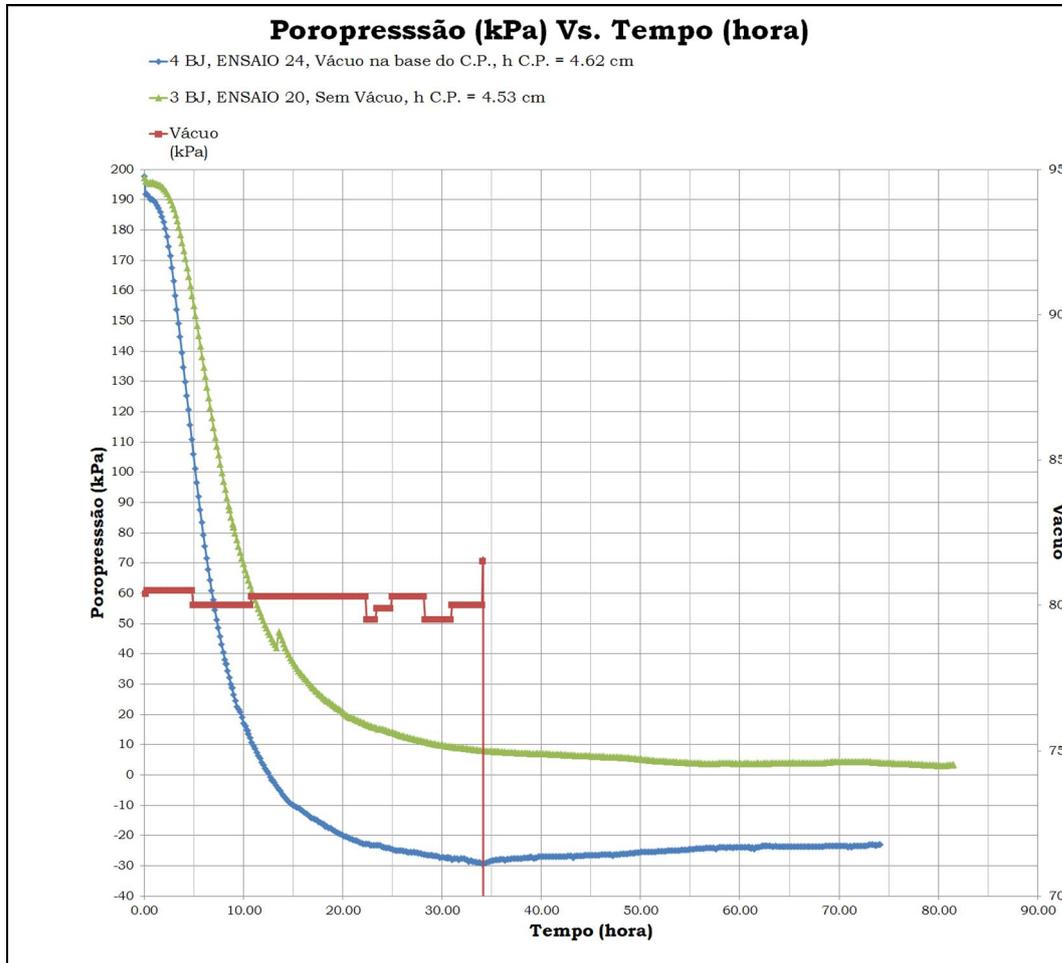


Figura 5.15 - Comparação curvas de Poro pressão (kPa) Vs. tempo (hora) obtidas nos ensaios 4BJ e 3BJ, feitos com C.P. de 4.50cm de altura.

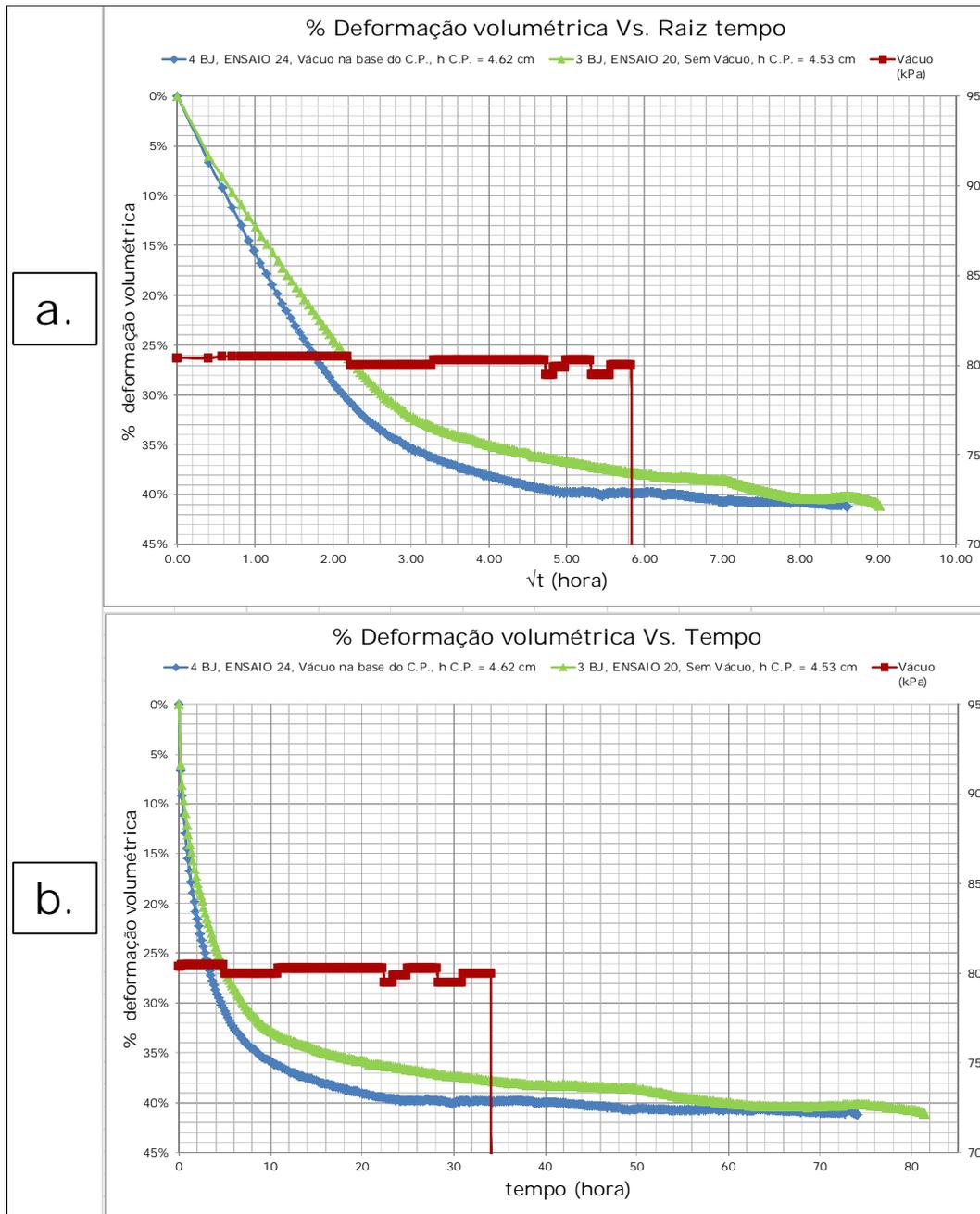


Figura 5.16 - Comparação curvas de % de deformação volumétrica Vs. tempo (hora), dos ensaios 4BJ e 5BJ.

1. Curvas de % de deformação volumétrica Vs. Raiz quadrada de tempo (hora)
2. Curvas de % de deformação volumétrica Vs. Tempo (hora)

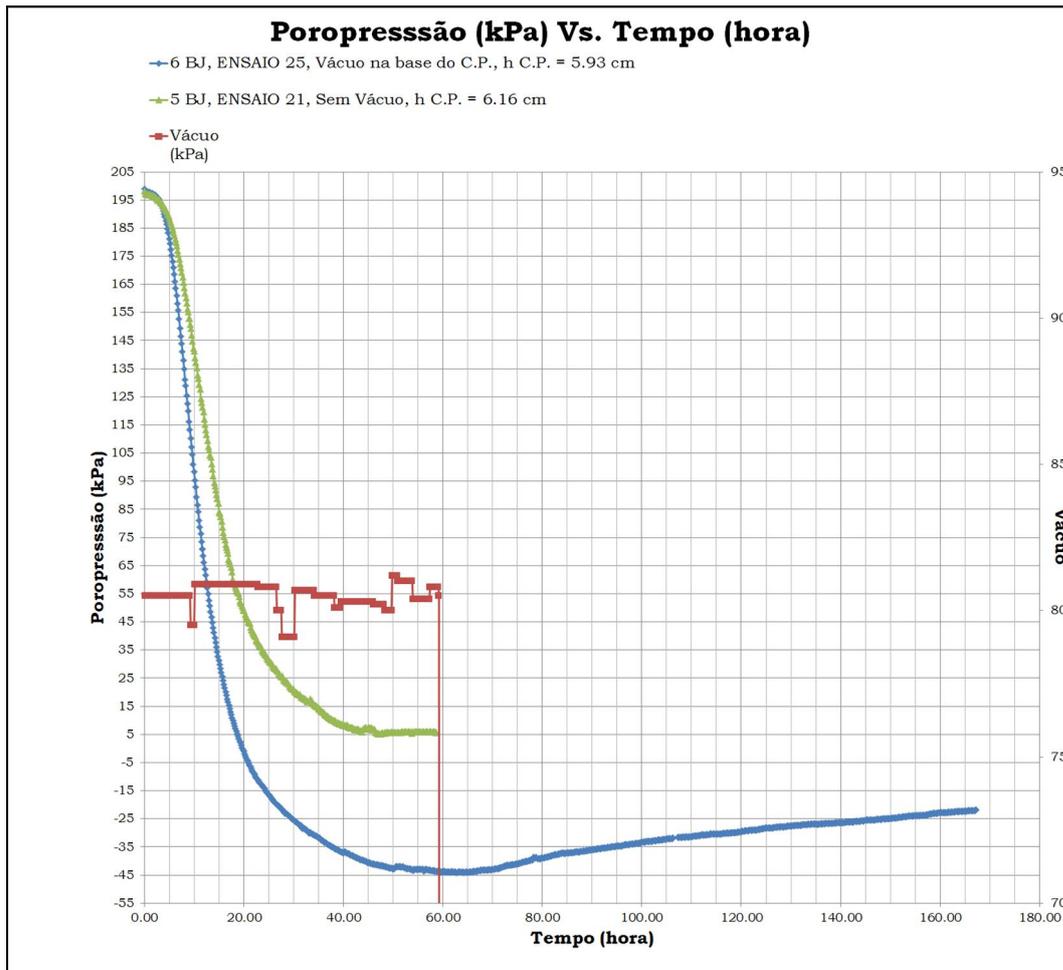


Figura 5.17 - Comparação curvas de Poro pressão (kPa) Vs. tempo (hora) obtidas nos ensaios 6BJ e 5BJ, feitos com C.P. de 5.95cm de altura.

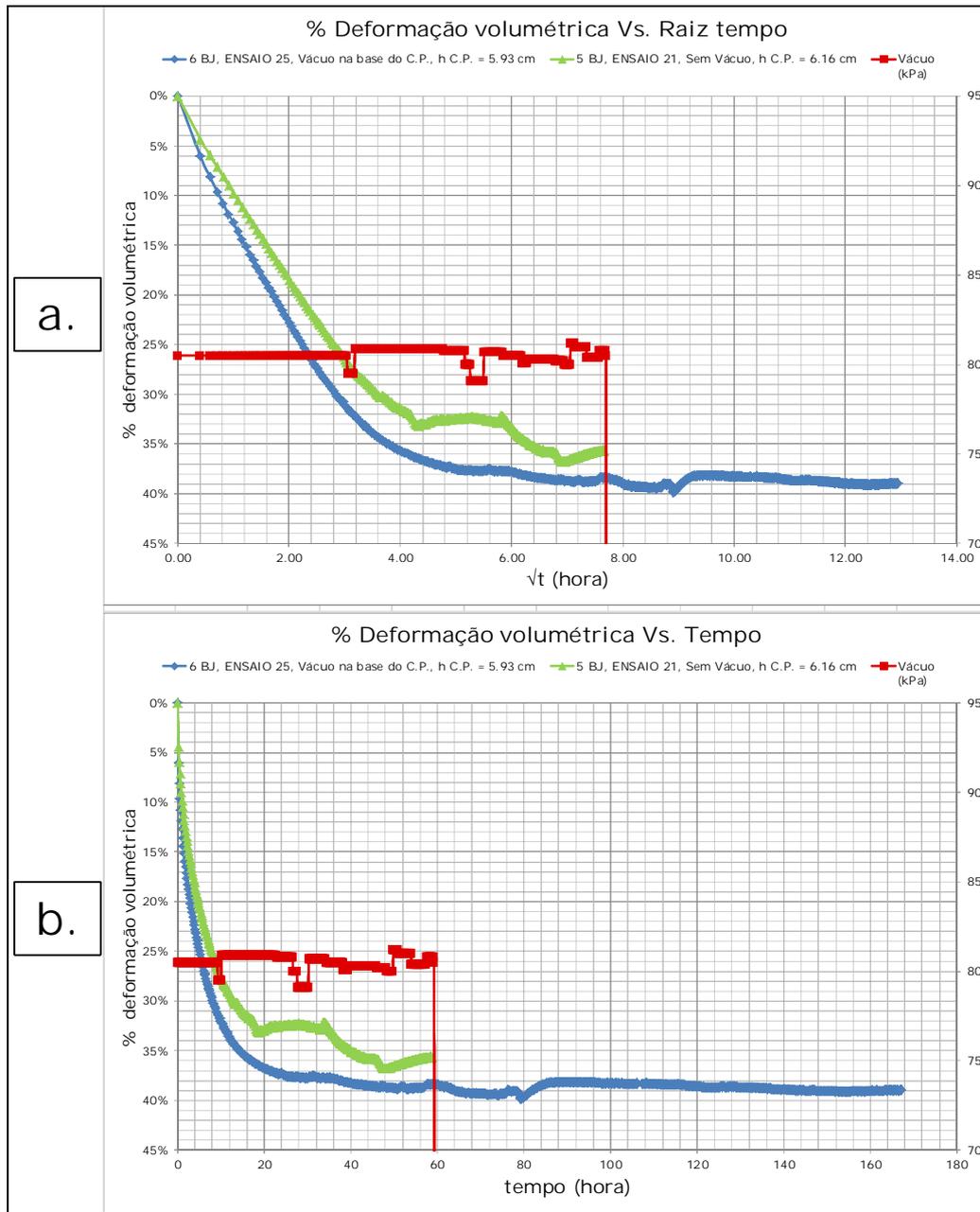


Figura 5.18 - Comparação curvas de % de deformação volumétrica Vs. tempo (hora), dos ensaios 6BJ e 5BJ.

1. Curvas de % de deformação volumétrica Vs. Raiz quadrada de tempo (hora)
2. Curvas de % de deformação volumétrica Vs. Tempo (hora)

Na Figura 5.19 se apresentam as curvas de porcentagem de variação volumétrica obtidas nos ensaios 5BJ, 6BJ e 7BJ.

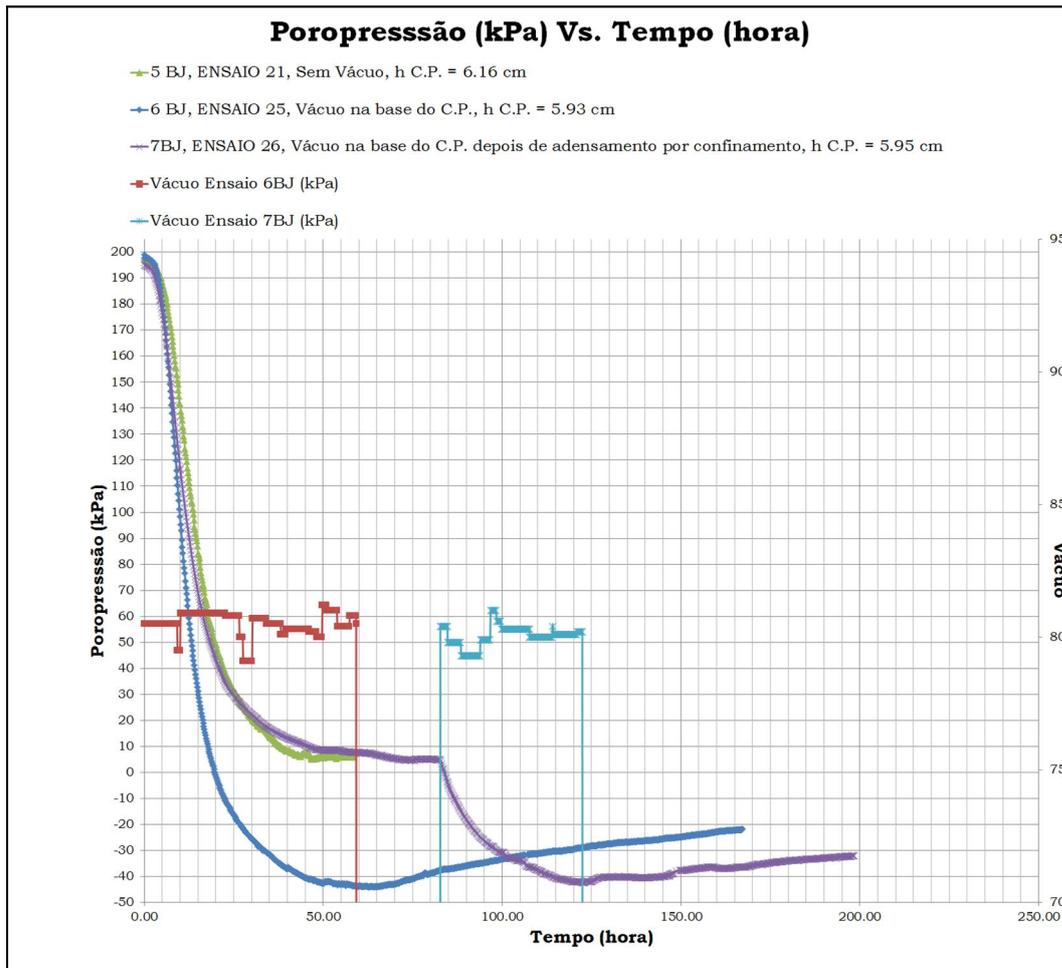


Figura 5.19 - Comparação curvas de Poro pressão (kPa) Vs. tempo (hora) obtidas nos ensaios 5BJ, 6BJ e 7BJ feitos com C.P. de 5.95cm de altura.

O ensaio 7BJ foi feito em uma primeira etapa sem vácuo. Somente teve adensamento pela ação da tensão confinante (200kPa) depois que a poro pressão se estabilizou em 6kPa aplicou-se pressão de vácuo até a poro pressão se estabilizou em 42kPa. A curva da primeira etapa é bastante similar a curva obtida no ensaio 5BJ e toda a curva obtida pelas duas etapas chega a uma pressão de estabilização bastante similar a obtida no ensaio 6BJ. Este ensaio permite observar uma curva de variação de poro pressão somente pela ação do vácuo.

A Figura 5.20 apresenta de forma similar uma comparação das curvas de porcentagem de deformação volumétrica Vs. tempo (hora), dos ensaios 6BJ e 5BJ e 7BJ.

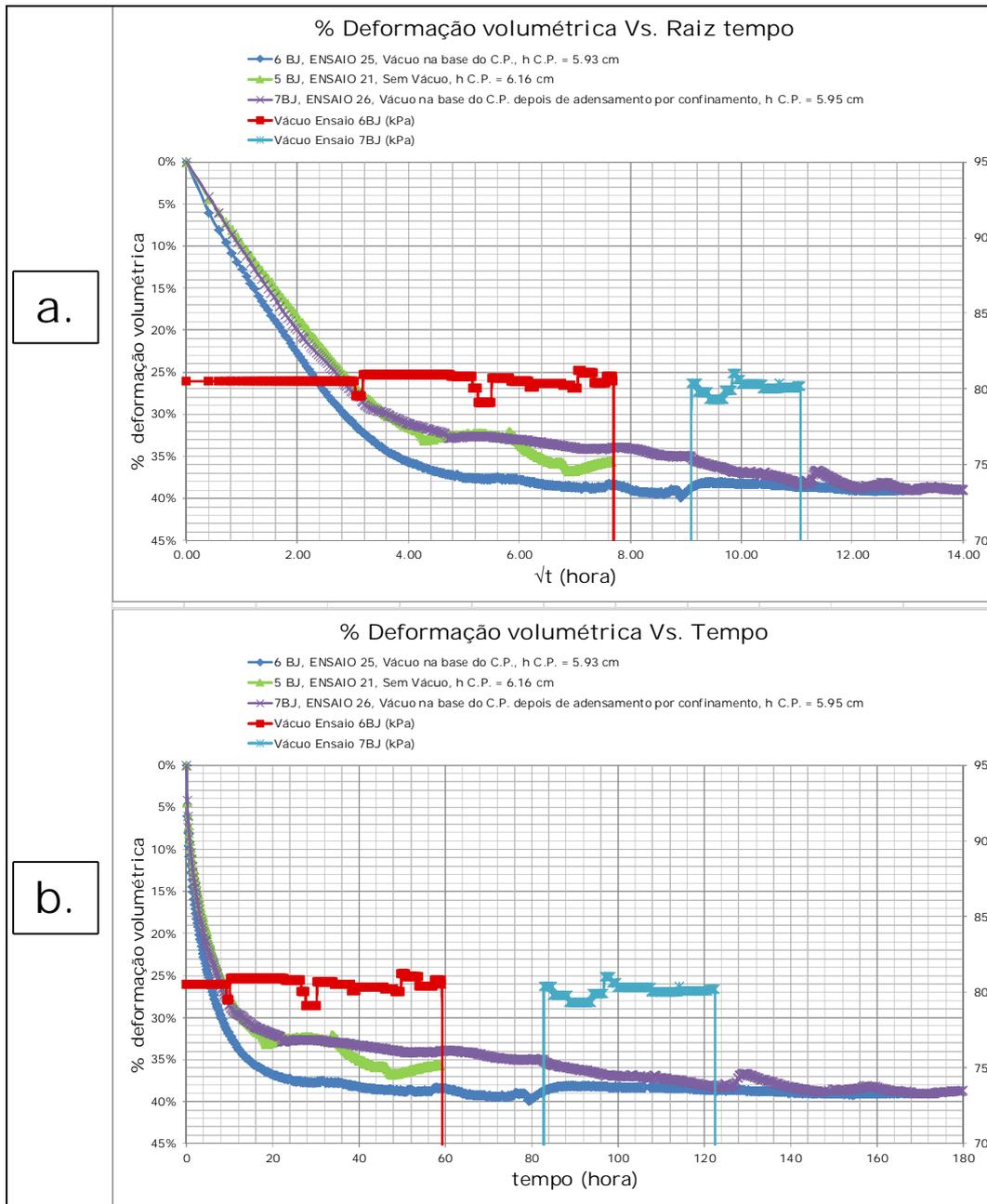


Figura 5.20 - Comparação curvas de % de deformação volumétrica Vs. tempo (hora), dos ensaios 6BJ e 5BJ e 7BJ

1. Curvas de % de deformação volumétrica Vs. Raiz quadrada de tempo (hora)
2. Curvas de % de deformação volumétrica Vs. Tempo (hora)

5.2.3.

Pressão de estabilização dos ensaios sem vácuo

Nos ensaios sem vácuo a poro pressão se estabilizou, em média, em 5 kPa. Esperava-se que estabilizasse-se em 0kPa porque a drenagem se ligou a atmosfera. O fato da pressão de estabilização ser um pouco maior de 0kPa pode ser explicado porque a água que sai do corpo de prova não ser água desaerada,

podendo assim conter pequenas bolhas de ar que podem ter ficado nos poros mantendo essa pequena tensão.

5.2.4.

Porosidade de estabilização dos ensaios com vácuo

Em dois dos ensaios com vácuo a pressão se estabilizou, em média, em -30kPa (ensaios 2BJ e 4BJ) e em outros dois, em média, em -44kPa (ensaios 6BJ e 7BJ). A pressão de vácuo aplicada foi de -80kPa. Nos ensaios de laboratório apresentados nos trabalhos de Li, 2011, Rujikaitkamjorn, 2008, entre outros, a porosidade se estabilizou em um valor igual a pressão de vácuo aplicada. Chai 2007 apresenta duas medições de porosidade, feitas em dois ensaios nos quais foi usada uma pressão de vácuo de -80kPa. No ensaio que o vácuo é aplicado em um silte argiloso (67.8% de silte, 31% de argila, $k=1.44 \times 10^{-9}$ m/s) a porosidade se estabilizou em -20kPa (depois de 2,880min = 48horas) enquanto que no ensaio em que a pressão de vácuo se aplicou em um material arenoso (50% de areia) a porosidade se estabilizou em -45.6kPa, neste trabalho não é explicado porque a porosidade não chega a ser igual a pressão de vácuo aplicada.

Para intentar explicar este fato foi feito um ensaio para medir a pressão de borbulhamento das pedras porosas (Ver Figura 5.21). Para realizar este ensaio foi fabricada uma peça especial de acrílico transparente. A pedra porosa é saturada e colocada no meio da peça. Em um extremo (extremo A) é aplicada uma pressão positiva a qual se vai incrementando até que se observe no outro extremo (extremo B), água saindo da pedra porosa. O resultado deste ensaio é que a pressão de borbulhamento de uma pedra porosa é inferior a 5kPa o que leva a conclusão de que a pressão de borbulhamento das pedras porosas não é a única responsável da perda da pressão de vácuo.

Este fato poderia ser explicado porque a água no interior do corpo de prova não é desaerada esta água pode cavitariar a uma pressão que como foi observado nos medições de Chai (2007) em diferentes valores dependendo da granulometria do solo ensaiado.

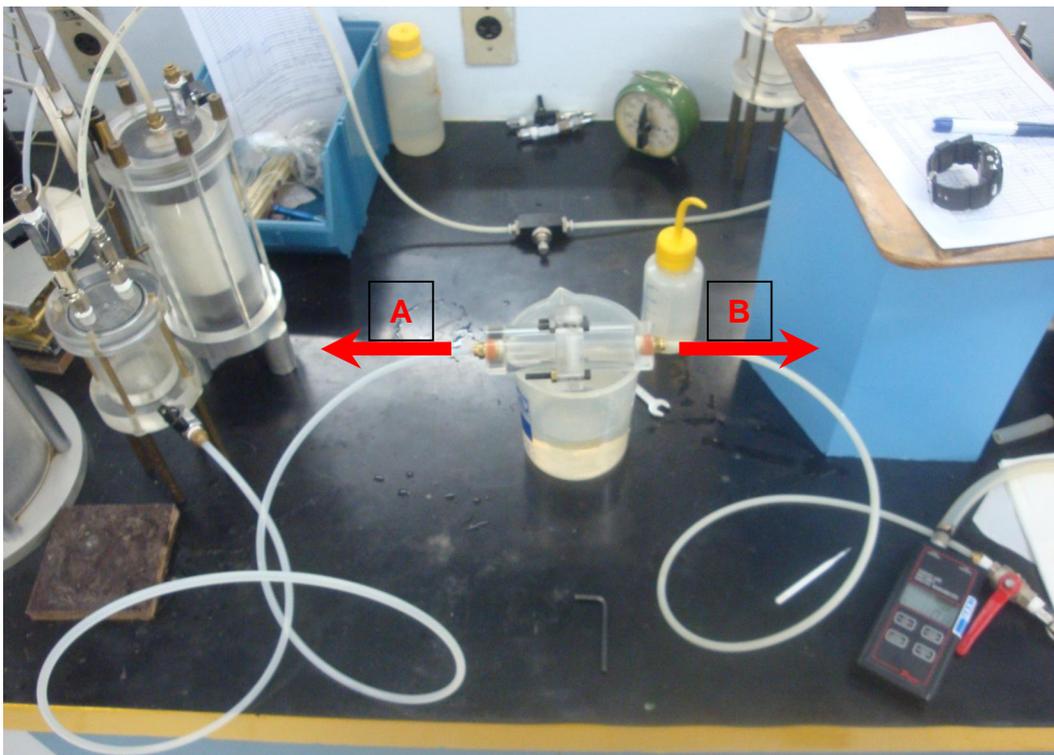


Figura 5.21 - Teste para medição de pressão de borbulhamento das pedras porosas usadas nos ensaios de adensamento isotrópico na célula triaxial.