

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O presente capítulo apresenta os detalhes sobre os equipamentos, as adaptações, bem como os procedimentos utilizados no programa de ensaios realizados no Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente (LGMA) da PUC-Rio. Alguns dos componentes principais serão apresentados e discutidos alguns conceitos teóricos e metodologias envolvidas, porém os resultados são apresentados e discutidos no Capítulo 4.

Conforme observado na Tabela 3.1, o programa experimental consistiu na execução de ensaios de caracterização geotécnica, adensamento unidimensional na célula do edômetro e adensamento isotrópico na câmara triaxial.

Tabela 3.1 – Resumo do Programa Experimental

Ensaio	Nº de Ensaios
Granulometria	1
Densidade dos grãos	1
Limites de liquidez	1
Limite de plasticidade	1
Teor de matéria orgânica	3
Adensamento unidimensional convencional	1
Adensamento unidimensional com estágio de vácuo	1
Adensamento isotrópico com aplicação de vácuo	3
Adensamento isotrópico com aplicação da pressão atmosférica	3

3.1. Ensaio de Caracterização Geotécnica

As propriedades físicas usualmente utilizadas nos laboratórios de mecânica dos solos para identificar a natureza de um solo são a textura, que pode ser identificada qualitativamente, através da análise tátil-visual e, quantitativamente pela caracterização física.

Essas propriedades índice são determinadas através dos ensaios de análise granulométrica, limites de consistência, densidade relativa dos grãos e determinação de matéria orgânica, realizados de acordo com as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A preparação da amostra para o ensaio de caracterização seguiu as premissas da NBR 6457/86. A seguir é feita uma breve descrição dos ensaios de caracterização.

3.1.1. Granulometria

Os ensaios de granulometria foram executados de acordo com a NBR 7181/84. O material destinado para a obtenção da curva granulométrica foi peneirado em um conjunto de peneiras, sendo determinada a porcentagem de solo com diâmetro maior que 0,075 mm.

A quantidade de material com grãos de diâmetro inferior foi determinada através do ensaio de sedimentação. Nesse caso o material foi misturado com 125 ml de defloculante (hexametáfosfato de sódio) e mantido em repouso por um período de 24 horas. Após esse período, foi realizada a dispersão mecânica e o solo foi então colocado em uma proveta de 1000 ml, cujo volume foi completado com água destilada.

3.1.2. Limites de Consistência

Os ensaios de limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP) foram realizados de acordo com os procedimentos das Normas NBR 6459/84 e NBR 7180/84, respectivamente.

Os ensaios foram realizados com amostras destorroadas, secas ao ar e passantes na peneira com abertura de 2 mm. Em ambos os ensaios, LL e LP, foi utilizada água destilada.

3.1.3. Massa Específica Real dos Grãos

A determinação da Massa Específica Real dos Grãos é dada pela razão entre a massa e o volume dos grãos de um solo, utilizando picnômetros de 250 cm³ e massas de solos secos iguais a 25 g. O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 6508/84, a desaeração foi realizada pela aplicação de vácuo durante 15 minutos ou até observada a ausência total de bolhas de ar.

3.1.4. Determinação do Teor de Matéria Orgânica

Foi realizado o ensaio de determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440°C, conforme prescreve a NBR 13600/96.

O ensaio consistiu em colocar o solo na estufa a 110°C por ao menos 24 horas para a retirada de toda a umidade. Posteriormente, o solo foi colocado na mufla, durante 6 horas, para que toda a matéria orgânica fosse queimada. O teor de matéria orgânica foi determinado pela diferença do peso do solo aquecido nas temperaturas de 110°C e 440°C.

3.2. Ensaio de Adensamento Unidimensional

Os ensaios de adensamento do presente estudo foram executados em prensas do tipo Bishop, conforme ilustra a Figura 3.1. Nessas prensas, a carga axial é transmitida ao corpo de prova por pesos previamente calibrados, através de um braço de alavancas com vantagem mecânica 10:1, e o registro das variações de altura, é feito por meio de um extensômetro mecânico com resolução de 0,01 mm.

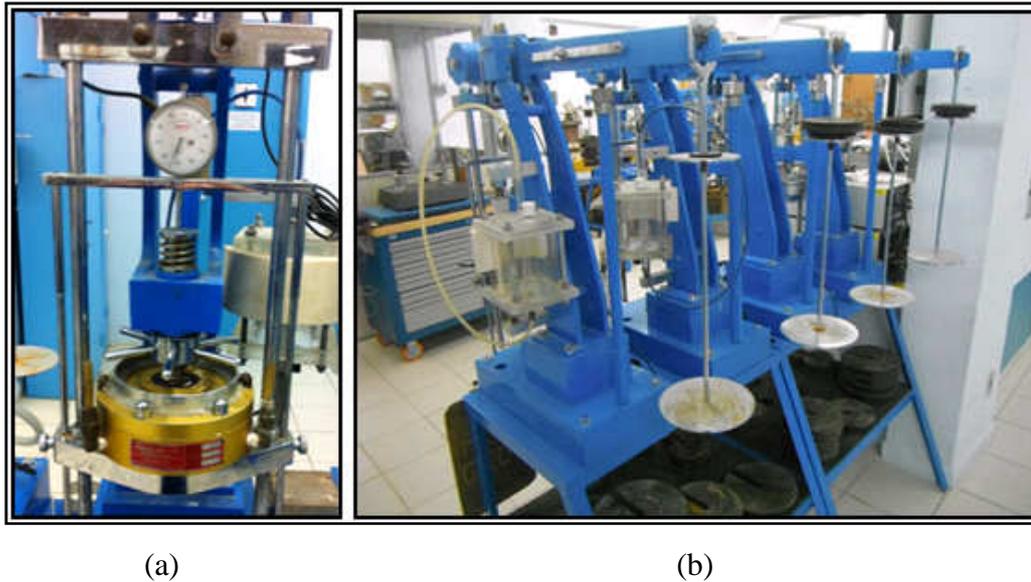


Figura 3.1 – Prensa de adensamento tipo Bishop do LGMA da PUC-Rio: (a) vista de frente e (b) vista lateral.

Foram realizados dois ensaios de adensamento unidimensional, denominados AU-01 e AU-02, convencional e com vácuo, respectivamente. Os ensaios foram realizados através da aplicação de 10 estágios com pressões de: 2,5; 10; 20; 40; 80; 160; 240; 160; 240 e 480 kPa. No ensaio AU-01, todos os estágios foram realizados de forma convencional, com aplicação de pesos na prensa de adensamento.

O ensaio AU-02 tem o mesmo princípio do denominado convencional, porém o sétimo estágio de carregamento foi realizado com a aplicação de sobrecarga com pressão de vácuo cujo valor médio aplicado foi de -80,5 kPa. A principal razão da aplicação da pressão de vácuo no estágio sete foi para garantir que a tensão horizontal, σ_h , seja positiva, de modo que não ocasionasse trinca na amostra, o que pode ocorrer no caso de a pressão de vácuo ser maior do que a tensão horizontal, gerando um possível deslocamento da amostra do anel de confinamento.

3.2.1. Equipamentos e Metodologias do Ensaio

Os equipamentos e metodologias dos ensaios utilizados nesta pesquisa seguiram a norma MB 3336/1990 (Solo - Ensaio de Adensamento

Unidimensional), porém para a execução do ensaio AU- 02 (com vácuo) foram realizadas algumas adaptações na célula de adensamento, a fim de garantir a completa vedação do sistema de aplicação de vácuo. Tais adaptações serão descritas mais adiante.

3.2.1.1. Moldagem dos Corpos de Prova

Os ensaios de adensamento foram realizados em corpos de prova, obtidos em amostras extraídas a profundidades de 0,60 a 1,50 m, com diâmetro de 5,0 cm ($A \cong 20\text{cm}^2$) e altura de aproximadamente 2,0 cm.

Os corpos de prova indeformados foram moldados a partir de amostras extraídas dos shelbies de acordo com os procedimentos sugeridos por Ladd & DeGroot (2004).

Na câmara úmida o tubo Shelby foi cuidadosamente serrado e separado do solo com a corda de violão, com comprimentos adequados ao ensaio a ser realizado (Figura 3.2 (a)). Conforme ilustra a Figura 3.2 (b), a sub-amostra foi separada da parede do tubo com o auxílio de uma corda de violão inserida com o auxílio de uma agulha de seringa. A amostra foi extraída com um molde que ajudava a empurrar o solo para fora do tubo e a moldagem foi realizada através da cravação lenta do anel de aço de parede fina e ponta biselada (Figura 3.2 (c)), internamente lubrificadas com vaselina, visando minimizar o atrito lateral entre o solo e o anel.

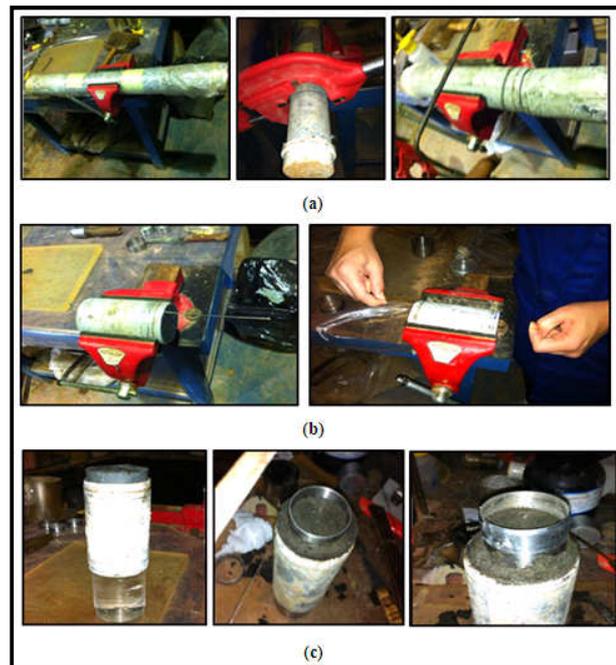


Figura 3.2 – Processo de extração e moldagem da amostra do tubo amostrador

Imediatamente após a moldagem do corpo de prova, seguindo as recomendações das normas NBR 2887/88 e NBR 6457/86, foram medidos o peso específico e a umidade. O peso específico foi determinado pela diferença do peso entre o “berço” com o solo e sem o solo, dividido pelo volume do corpo de prova, medido através do paquímetro digital. A umidade foi determinada a partir das aparas do solo que restaram do processo de talhagem do corpo de prova.

A partir das relações entre os índices físicos existentes na literatura corrente de Mecânica dos Solos, e com o conhecimento da umidade do solo, w , do peso específico natural, γ_{nat} , e da densidade relativa dos grãos, G_s , os demais índices foram obtidos.

3.2.1.2. Adaptações e Montagem dos Ensaios

Para o ensaio de adensamento unidimensional AU-02, foi fabricada uma célula de PVC, no próprio LGMA da PUC-Rio. Conforme ilustrado na Figura 3.3 (a), a base da mesma era sólida e um pouco afunilada, evitando assim o aprisionamento do ar que ocorria nas fissuras da base da célula utilizada no ensaio convencional, (Figura 3.3 (b)). É válido destacar que o ensaio de adensamento

unidimensional AU-01, utilizou a célula comumente empregada nos ensaios convencionais.

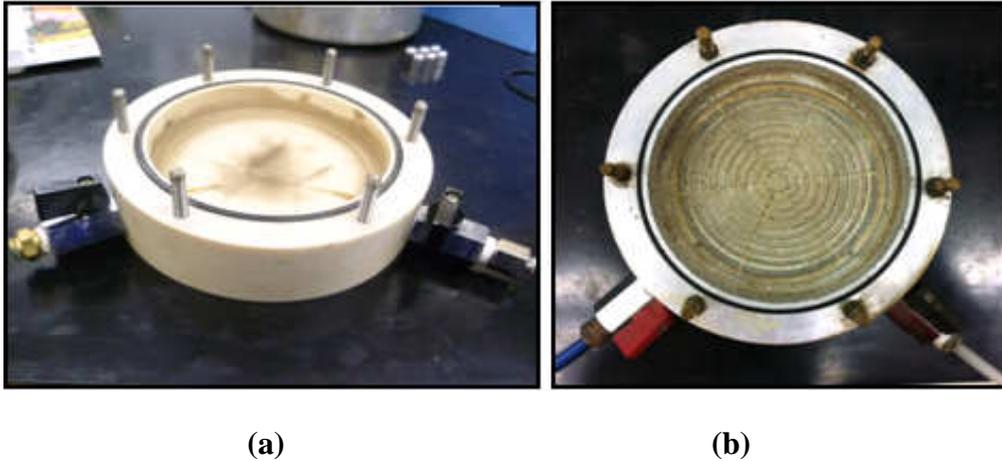


Figura 3.3 – (a) Célula fabricada de PVC e (b) Célula convencional

Devido ao pequeno afunilamento da nova célula de PVC, para evitar danos à pedra porosa, e interferências nos resultados do ensaio AU-02, foi utilizado uma pedra cerâmica, posicionada abaixo da pedra porosa.

A fim de diminuir o ar e garantir a saturação do sistema, as pedras foram previamente fervidas e imersas em água destilada até o momento da montagem do ensaio. O papel filtro empregado foi previamente cortado e saturado em água destilada antes de cada ensaio.

A seguir é descrito o processo de montagem do ensaio:

- A montagem da célula para o ensaio AU-01, ilustrada na Figura 3.4 seguiu a seqüência: base rígida, pedra porosa inferior, papel-filtro, cabeçote, anel guia inferior, corpo de prova contido no anel biselado, papel filtro, anel guia superior e pedra porosa superior (Cap).

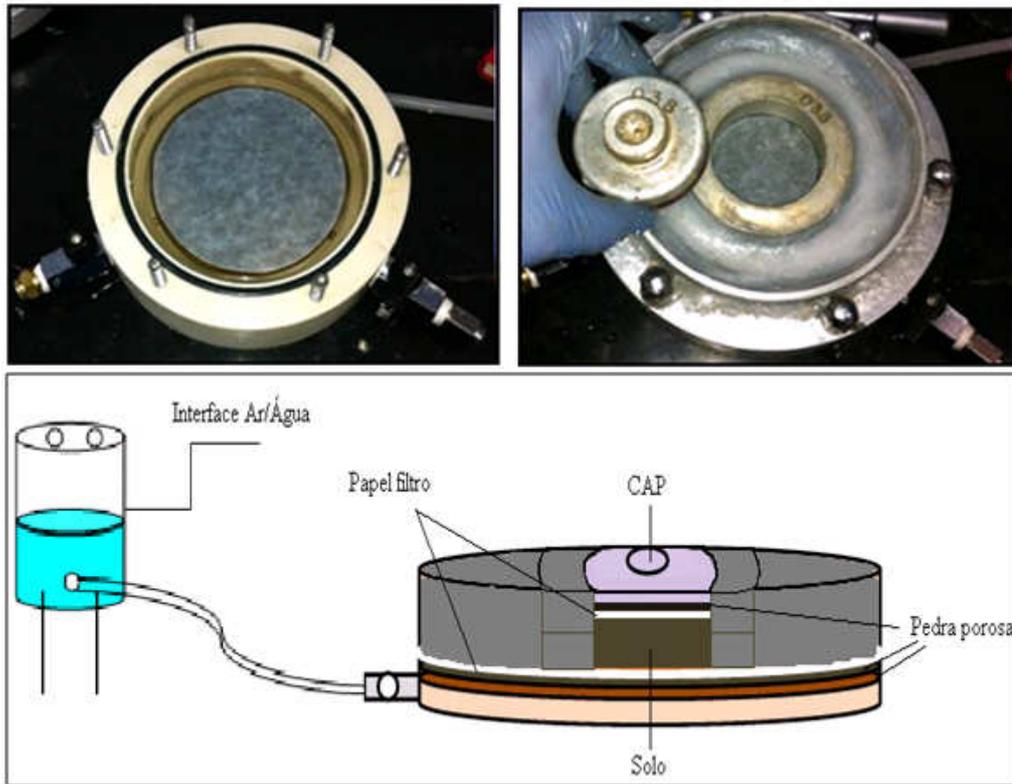


Figura 3.4 – Processo de montagem da célula

- A montagem da célula para o ensaio AU-02 seguiu basicamente a mesma seqüência: base rígida, pedra cerâmica, pedra porosa inferior, papel-filtro, cabeçote, anel guia inferior, corpo de prova contido no anel biselado, papel filtro, anel guia superior e pedra porosa superior (Cap).

3.2.1.2.1.

Sistema de Vedação da Célula de Adensamento Unidimensional

Para um sistema eficiente de aplicação da pressão de vácuo foi necessário uma completa vedação da célula de adensamento. No ensaio AU-02, antes da montagem na prensa de adensamento, foram realizados alguns procedimentos de vedação.

A parte exterior do cabeçote, bem como os parafusos de ajuste do conjunto da célula foram vedados com silicone. A parte superior do cabeçote foi vedada com vaselina. Um anel de borracha (O'ring), de aproximadamente mesmo diâmetro do anel guia superior, foi colocado no topo do "Cap" (Figura 3.5).

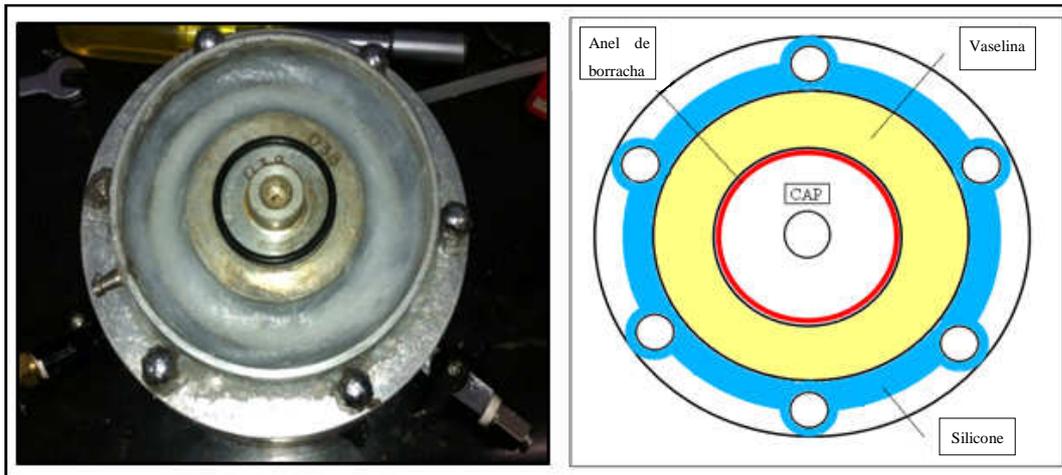


Figura 3.5 – Sistema de vedação da célula de adensamento

Após o sistema de vedação concluído, a célula foi montada na prensa de adensamento para início do ensaio (Figura 3.6).

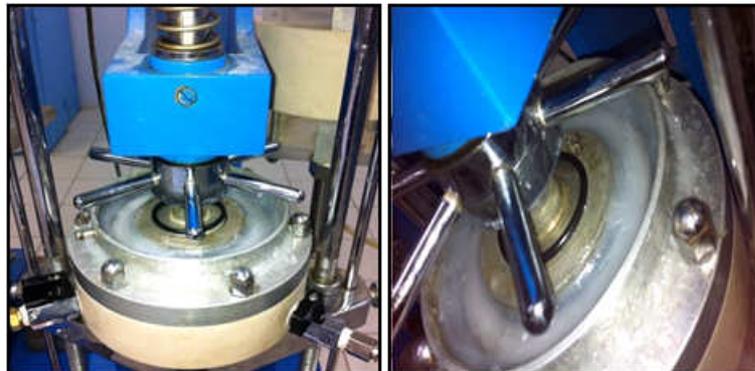


Figura 3.6 – Célula de adensamento ajustada na prensa com sistema de vedação

Até o final do sexto estágio de carregamento, no ensaio AU-02, a amostra foi mantida submersa para evitar a perda de umidade, com água sob a parte superior do “Cap”. Porém, antes do início do sétimo estágio (estágio com aplicação da pressão de vácuo), com a ajuda de uma seringa de plástico, a água era, cautelosamente, retirada do topo do “Cap”. Em seguida, com a mesma seringa de plástico, o O’ring (colocado antes da montagem da célula na prensa) foi abaixado, cuidadosamente, até alcançar a posição do recalque do corpo de prova, a fim de garantir a vedação do sistema (Figura 3.7).

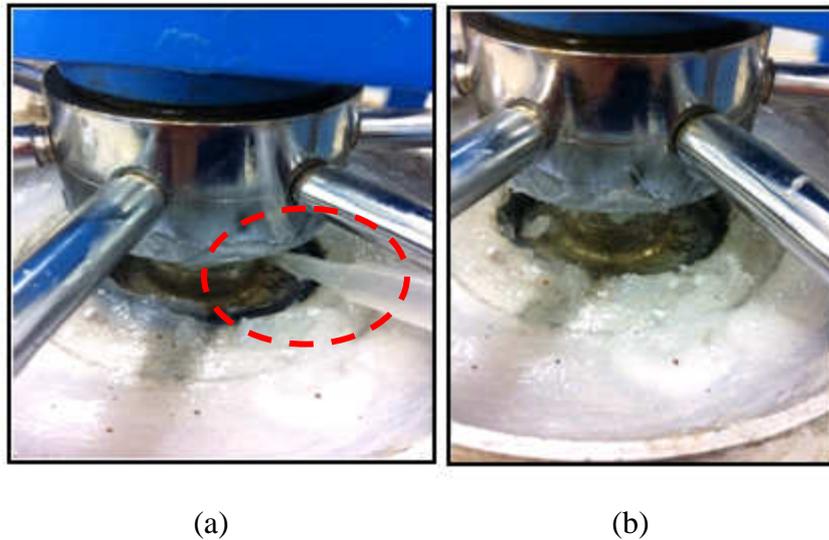


Figura 3.7 – (a) Abaixamento do O’ring com auxílio da seringa de plástico e (b) O’ring após abaixamento

Finalizando o sistema de vedação, antes da execução do sétimo estágio de carregamento, com vácuo, o topo do “Cap” foi preenchido com a graxa de vaselina, conforme ilustra a Figura 3.8.



Figura 3.8 – Topo do Cap preenchido com graxa de vaselina

3.2.1.2.2. Sistema de Produção de Vácuo no Adensamento Unidimensional

O vácuo era produzido por uma bomba de vácuo de anel líquido (Figura 3.9), localizada na parte externa ao laboratório. A bomba utilizada na pesquisa foi produzida e doada para o LGMA da PUC-Rio pela Empresa Tecnogeo. A manutenção da pressão de vácuo durante os ensaios foi realizada através do

arrefecimento da água da bomba, através da circulação de água, e quando necessária a renovação da mesma, em um sistema adaptado na parte externa do laboratório.



Figura 3.9 – Bomba de vácuo

A Figura 3.10(a) ilustra o sistema externo de arrefecimento da água de circulação da bomba de vácuo, composto por quatro componentes. Um trocador de energia térmica (radiador serpentina), um freezer, ligado na máxima potência e preenchido com água a uma temperatura média de 10°C a 17°C, antes do início do ensaio e com capacidade de aproximadamente 430l, o reservatório 1 com aproximadamente de 50l e o reservatório 2 de aproximadamente 300l.

A água circula na bomba, a mesma é destinada ao reservatório 1, a fim de prolongar o tempo de perda de calor, é então conduzida ao reservatório 2, e por fim, circula dentro do trocador de energia térmica, colocado dentro do freezer Figura 3.10(b).

A temperatura foi monitorada através de dois termômetros, um dentro do Freezer, e outro dentro do Reservatório 2, onde eventualmente, a temperatura foi lida no Reservatório 1. Ao atingir uma temperatura de aproximadamente 30°C, a água do Freezer, do reservatório 1 e 2, foram trocadas por água na temperatura ambiente.

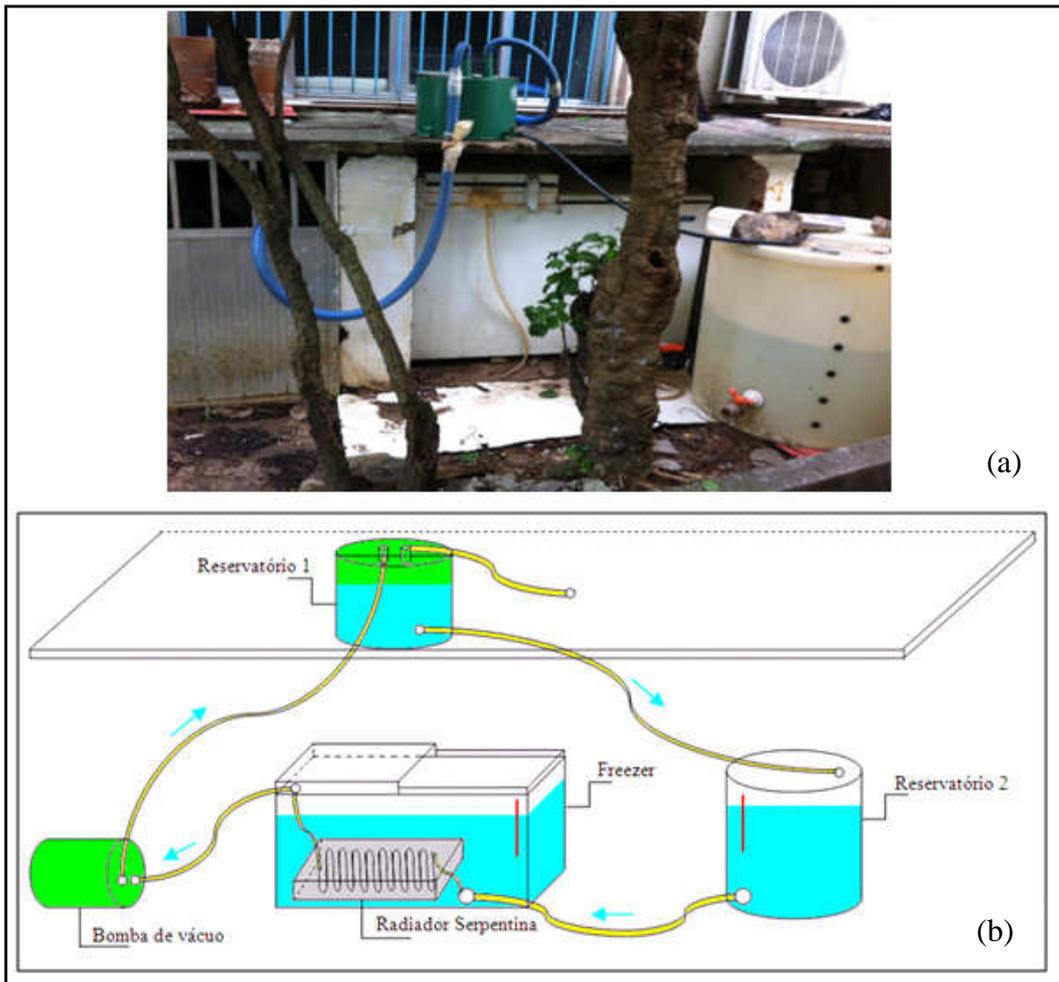


Figura 3.10 – Sistema externo de arrefecimento da água

O vácuo chegava à parte interna do laboratório através de um sistema de tubulações, completamente vedados, controlado por um regulador central, com um manômetro.

3.2.1.2.3. Sistema de Aplicação de Vácuo no Adensamento Unidimensional

O vácuo foi aplicado em um tanque, cilíndrico de acrílico, através de uma interface ar/água, por intermédio de uma mangueira apropriada para aplicação de vácuo de até 10 bar. Do regulador central para a aplicação no tanque, o vácuo foi controlado por um segundo regulador, com melhor precisão.

A Figura 3.11 ilustra o tanque, transparente, que foi preenchido até aproximadamente metade de sua capacidade com água destilada desaerada e a

mangueira, que conectava o tanque pela parte inferior, até a célula de adensamento de PVC era transparente e completamente preenchida com água destilada desareada, a fim de minimizar as bolhas de ar no sistema.

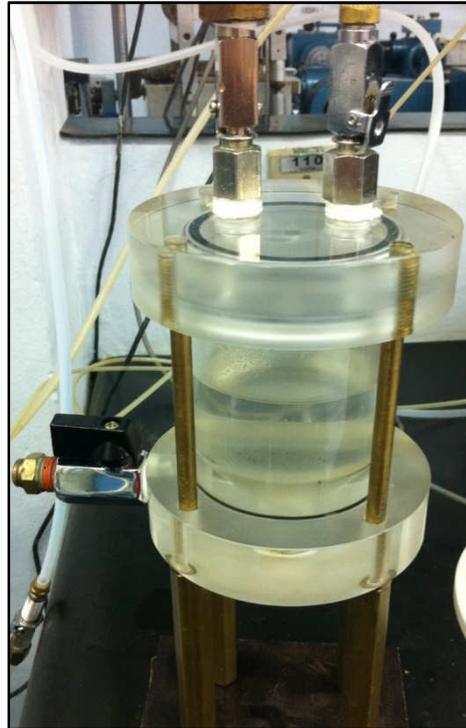


Figura 3.11 – Tanque de acrílico com a interface ar/água

A altura da interface ar/água do tanque foi mantida na metade da altura do corpo de prova durante o ensaio, através de um regulador de altura (Figura 3.12).

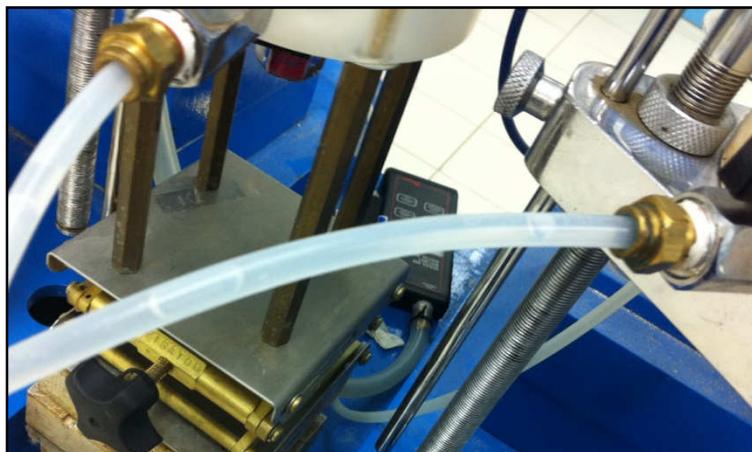


Figura 3.12 – Detalhe do regulador de altura

Na parte superior do tanque, há duas válvulas, em uma foi realizada a entrada de vácuo do regulador 2, na outra foi medido o vácuo aplicado, através de um manômetro digital, com capacidade máxima de -99,9 kPa, cuja resolução era de 0,01 kPa.

3.2.1.2.4.

Execução do Ensaio: Adensamento Unidimensional

Durante a realização dos ensaios, os corpos de prova foram mantidos submersos para evitar a perda de umidade por evaporação. Após a instalação da célula de adensamento na prensa, foi aplicada uma carga de assentamento. A seguir, o ensaio transcorreu mediante a aplicação de incrementos de carga constante com duração de 24 horas, exceto para o sétimo estágio com pressão de vácuo, cuja duração foi de 30 horas.

Para o estágio com carregamento sob ação da pressão de vácuo, o mesmo foi liberado para o tanque com a interface ar/água, e através do manômetro digital foi medido a estabilização. Em seguida, as válvulas, que ligavam a mangueira do tanque à base da prensa de adensamento, por onde saía a água da amostra, foi aberta, iniciando assim o ensaio.

Uma atenção especial foi realizada para que não houvesse borbulhamento na água do tanque, garantindo assim a vedação do sistema.

Após a execução do sétimo estágio, a válvula do tanque foi fechada, o vácuo foi liberado e a mangueira era retirada do tanque, para que fosse dada continuidade aos estágios seguintes. Ao final do ensaio, o corpo de prova foi retirado da célula e a umidade foi medida.

3.3.

Ensaio de Adensamento Isotrópico

Foram realizados dois tipos de ensaios de adensamento isotrópico, com a ação da pressão de vácuo e com a ação da pressão atmosférica, denominados AI – PV e AI – PA, respectivamente.

Os ensaios de adensamento isotrópico realizados neste estudo foram executados no equipamento triaxial convencional, com algumas adaptações. A fim

de comparar o comportamento das poropressões nas amostras, com a ação das diferentes pressões, foram realizados ensaios com alturas similares para ambos os tipos de execução de ensaio, AI – PV e AI – PA, descritos na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Altura dos ensaios de adensamento isotrópico na câmara triaxial

	AI - PV	AI - PA
ALTURA DO CORPO DE PROVA (cm)	2,418	2,47
	3,675	3,773
	5,513	5,484

Descreve-se a seguir, os equipamentos, bem como as metodologias do sistema convencional, com maior ênfase ao sistema e aos procedimentos realizados nesta pesquisa.

3.3.1. Equipamento Triaxial

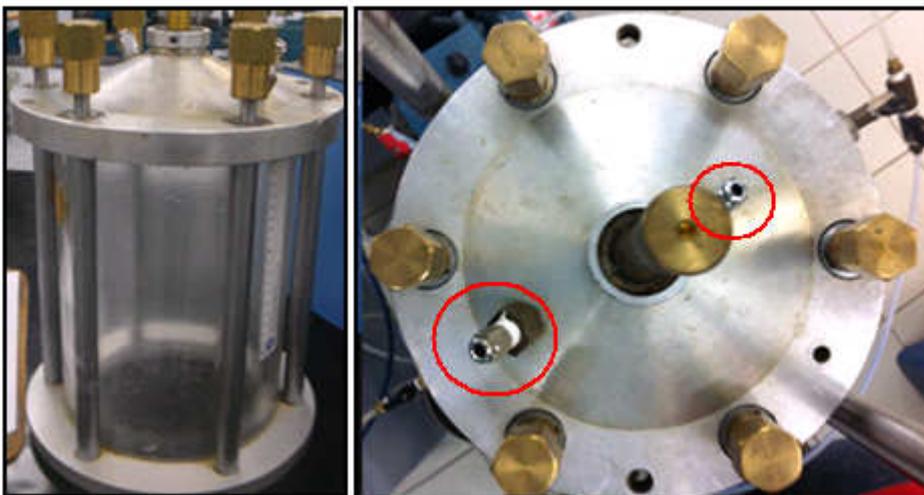
O equipamento triaxial convencional é constituído de três principais componentes: a câmara triaxial, o sistema de aplicações de pressões e a instrumentação para aquisição automática de dados. A disposição dos componentes do sistema utilizado nesta pesquisa é ilustrada na Figura 3.13, com a câmara e a prensa triaxial, o painel de aplicações de pressões, o sistema de aplicação de vácuo (tanque com interface ar/água e manômetro digital) e o medidor de variação volumétrica (MVV).



Figura 3.13 – Componentes do sistema triaxial utilizado na pesquisa

3.3.1.1. Câmara Triaxial

A câmara triaxial utilizada foi da marca Wykeham Farrance, de paredes em acrílico, o que possibilita a visualização do corpo de prova durante o ensaio, cuja capacidade de pressão interna de até 1500 kPa (Figura 3.14 (a)). A Figura 3.14 (b) ilustra os dois orifícios na parte superior da câmara triaxial, vedados, que possibilitam um alívio de ar da câmara quando necessário.



(a)

(b)

Figura 3.14 – Câmara triaxial

A Figura 3.15(a) ilustra uma visão geral do ensaio e a Figura 3.15(b) ilustra a base da prensa triaxial, que possui quatro conjuntos de válvulas de esfera. O conjunto A permite a aplicação da tensão de confinamento e a medição do volume da câmara triaxial. O conjunto B permite através do transdutor de pressão acoplado na prensa, a medição das pressões e poropressões do sistema, bem como o fluxo de água pela base, aqui denominada base 1. O conjunto C permite o fluxo de água pelo topo do corpo de prova e, o conjunto D, permite a saída de água para o tanque com a interface ar/água e o fluxo de água pela base, aqui chamada de base 2.

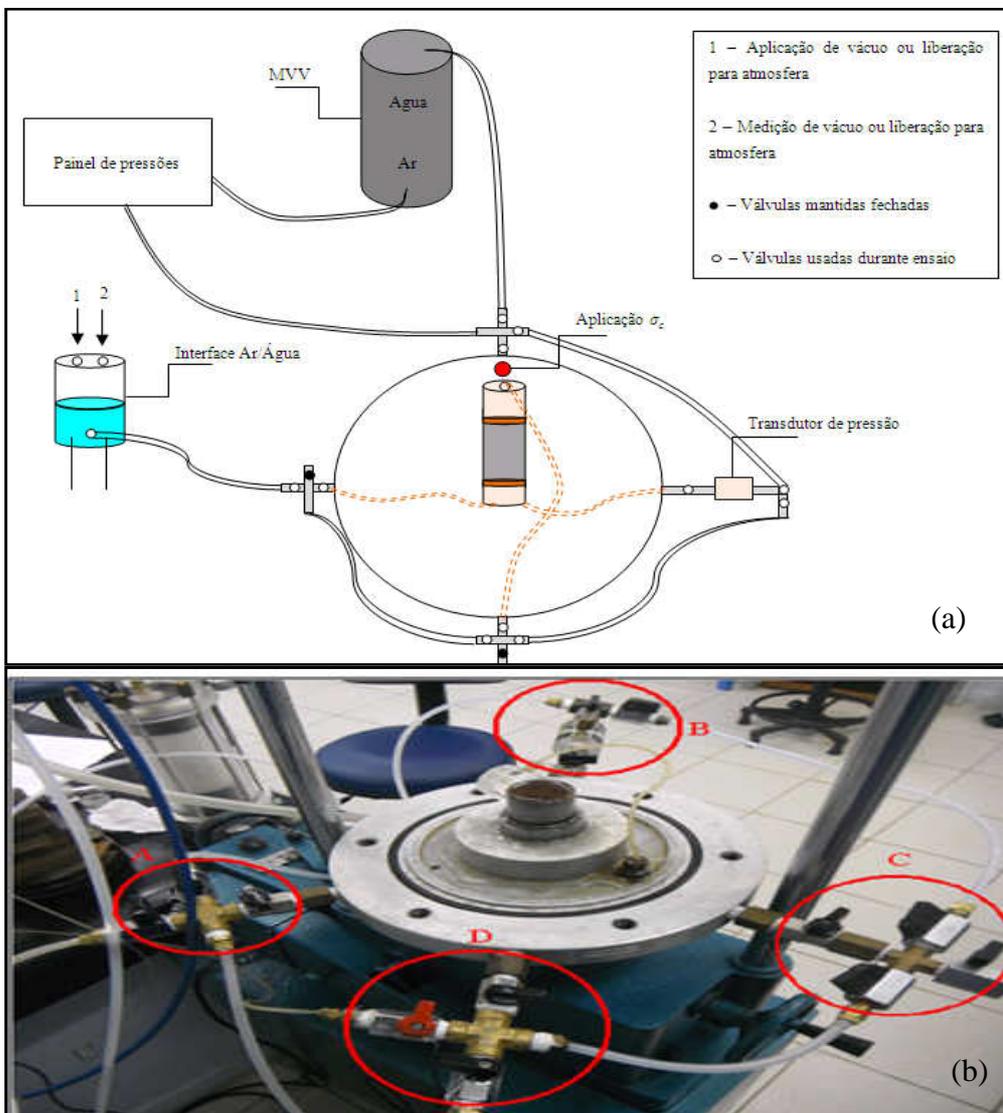


Figura 3.15 – (a) Visão geral do ensaio, (b) Sistema de válvulas na base da prensa triaxial

3.3.1.2. Medidor de Variação Volumétrica

Neste estudo foram medidas as variações volumétricas do corpo de prova considerando a quantidade de água que entra ou sai da câmara triaxial, medida através de um medidor de variação volumétrica (MVV), do tipo Imperial College fabricados no LGMA da PUC-Rio com resolução de $0,01 \text{ cm}^3$ (Figura 3.16).

O funcionamento do mesmo consiste na aplicação de ar na câmara inferior formada pela borracha Bellofram, a qual empurra um cilindro de PVC para cima comprimindo a água contida na câmara superior. O deslocamento do cilindro de PVC, localizado no centro entre os dois Bellofram, é medido através de um extensômetro elétrico, onde os dados são convertidos e gravados no sistema central de aquisição de dados.



Figura 3.16 – Medidor de Variação Volumétrica

Para o bom funcionamento, a câmara superior, que contém água, deve estar completamente preenchida, sem haver a existência de bolhas de ar, portanto, o medidor de variação volumétrica foi completamente saturado antes de iniciar o ensaio.

3.3.1.3.

Sistema de Aplicação da Pressão de Vácuo e Atmosférica

O sistema de aplicação de pressões, vácuo ou atmosférica, na câmara triaxial segue os mesmos princípios da aplicação do adensamento unidimensional, descritos no item 3.2.1.2.3. A interface ar/água é responsável pela transmissão destas pressões para a amostra e pela saída de água da mesma. A mangueira, liga o tanque (com a interface ar/ água) com a base 2 da amostra, na prensa triaxial.

Após conectar a mangueira do tanque na válvula da câmara triaxial (antes de abrir as válvulas de esfera do sistema tanque e câmara triaxial) deve-se garantir que a mangueira esteja completamente preenchida com água destilada desaerada, a fim de minimizar o ar nas linhas.

3.3.1.4.

Transdutor de Pressão

O transdutor utilizado para controlar e medir, respectivamente, as pressões na câmara e as poropressões resultantes, é da Wykeham-Farrance, com resolução de 0,5 kPa, precisão de 1kPa, capacidade mínima de – 50 kPa e capacidade máxima de 1000 kPa.

O transdutor é conectado à base 1 da prensa triaxial onde existem duas válvulas que liberam para as medições em todo o sistema. A Figura 3.17 ilustra o transdutor de pressão durante a execução do ensaio, onde a válvula para a medição da poropressão da base 1 está fechada, e a válvula que liga o sistema para a medição da poropressão no topo esta aberta.

O transdutor é conectado à base da câmara triaxial através de um extrator de bolhas de acrílico, onde existe uma pequena válvula que pode ser aberta, permitindo a circulação de água através do mesmo e a retirada de bolhas de ar do sistema, evitando erros nas medições de poropressões. As medições foram registradas no sistema central de aquisição de dados.



Figura 3.17 – Transdutor de pressão durante execução do ensaio

3.3.1.5. Sistema de Aplicação de Pressões

O sistema de aplicação de pressão na câmara, ilustrado na Figura 3.18, foi de ar comprimido, controlado por um painel de válvulas reguladas manualmente capazes de manter as pressões constantes durante os ensaios.



Figura 3.18 – Sistema de aplicação de pressões

A tensão confinante foi aplicada à amostra após o completo preenchimento da câmara triaxial, com água destilada, através da aplicação da pressão na interface ar/água da câmara triaxial. A pressão de vácuo ou a pressão atmosférica foram aplicadas através da interface ar/água do tanque.

3.3.1.6. Sistema Central de Aquisição de Dados

A obtenção e gravação contínua dos resultados dos ensaios foram realizadas de maneira automatizada, por meio do sistema central de aquisição de dados do LGMA da PUC-Rio, composto pelo hardware QuantumX de oito canais da empresa alemã HBM e pelo software CatmanEasy (Figura 3.19).

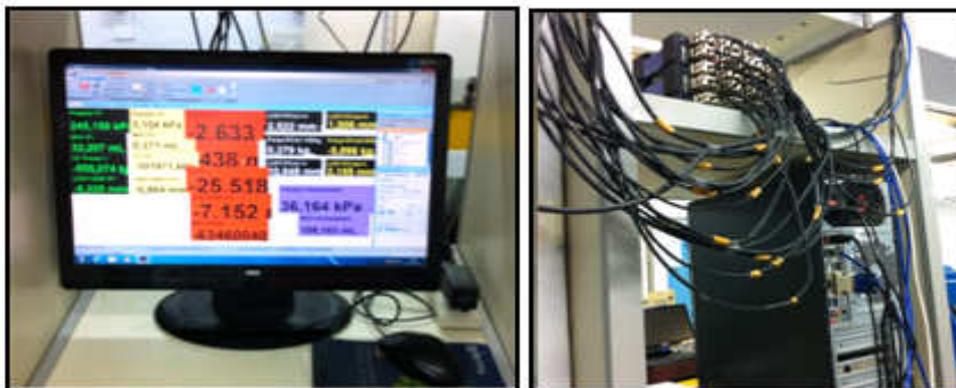


Figura 3.19 – Sistema central de aquisição de dados

3.3.1.7. Acessórios: Membrana de Latex, Papel filtro, Pedras Porosas, Manômetro Digital

As membranas utilizadas foram de látex, fornecidas pela Precision Dippings Marketing LTD – Inglaterra, testadas antes da execução de todos os ensaios para a verificação de ausência de furos e verificadas quanto ao comprimento das mesmas, para que estivessem de acordo com a altura das amostras a serem ensaiadas.

Os papéis filtro utilizados no topo e na base da amostra, foram cortados antes da montagem do ensaio, de acordo com o diâmetro da pedra porosa e mantidos saturados com água destilada, até a montagem do ensaio.

Foram utilizadas as mesmas pedras porosas em todos os ensaios realizados na prensa triaxial. As pedras porosas foram previamente saturadas e mantidas em água destilada até a montagem do ensaio.

3.3.2. Metodologias

Neste item serão descritas as metodologias realizadas para a execução dos ensaios de adensamento isotrópico.

3.3.2.1. Moldagem dos Corpos de Prova

O programa de ensaios para o adensamento isotrópico foi realizado em corpos de prova obtidos em amostras extraídas a partir das amostras tipo Shelby, conforme descrito no ensaio de adensamento unidimensional, no item 3.2.1.1. Durante a moldagem foram retiradas as sobras do material com o objetivo de se determinar o teor de umidade natural (w). Ao final, os corpos de prova eram submetidos à pesagem, visando a obtenção do peso específico natural.

Foram realizados no total 6 ensaios na câmara triaxial: três ensaios com a aplicação de pressão de vácuo, com valor médio de - 80 kPa, e três ensaios com aplicação da pressão atmosférica.

A moldagem foi realizada com ajuda da corda de violão no torno de moldagem, definindo-se o corpo de prova com as dimensões pré-determinadas, verificadas com um paquímetro de exatidão de 0,01 mm. Durante a moldagem, foram perdidas algumas amostras devido a quantidade de matéria orgânica presente no solo, não permitindo a adequada conformação dos corpos de provas.

Massa, volume e teor de umidade também foram mensurados visando à determinação de índices físicos.

3.3.2.2. Saturação das Linhas do Equipamento Triaxial

Todas as linhas da base da célula e a do topo (“cap”) foram testadas a fim de garantir o não entupimento das mesmas e em seguidas saturadas, percolando água destilada através das tubulações do equipamento triaxial, para a eliminação de bolhas de ar que pudessem estar presentes nas linhas.

3.3.2.3. Montagem do Ensaio

A seguir é descrito o processo de montagem do ensaio:

- Posicionava-se a pedra porosa e o papel filtro, previamente saturados, sobre o pedestal da célula triaxial;
- Colocava-se cuidadosamente, o corpo de prova sobre o papel filtro;
- Seguindo a seqüência, a membrana de látex foi envolta, com especial cuidado sobre o corpo de prova, a fim de minimizar o amolgamento no mesmo,
- O outro papel filtro e a pedra porosa eram colocados no topo do corpo de prova, o cabeçote de acrílico (“top cap”) foi posicionado no topo do conjunto e a membrana era presa ao pedestal e ao cabeçote por anéis de vedação (O’rings);
- A câmara de acrílico foi então montada e completamente preenchida com água destilada.

3.3.2.4. Saturação do Corpo de Prova

Terminado o processo de montagem, a fim de garantir a saturação da amostra, foram aplicados sucessivos incrementos de pressão de confinamento isotrópico, relação $\frac{\sigma'_h}{\sigma'_v}$ constante, de 50, 100, 150 e 200 kPa respectivamente, e lidos os valores das poropressões gerados na base 1, a fim de verificar o grau de saturação.

Calculava-se o parâmetro B de Skempton, sendo:

$$\mathbf{B} = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_c} \quad \text{Equação 3.1}$$

Onde:

Δu – excesso de poropressão gerado;

$\Delta \sigma_c$ – acréscimo de tensão confinante aplicado.

Após garantir a saturação do corpo de prova, a um valor mínimo de 0,995, era iniciado o processo de adensamento.

3.3.2.5. Execução do Ensaio: Adensamento Isotrópico

Inicialmente foi aplicada uma tensão confinante de 200 kPa de modo a gerar uma poropressão positiva na amostra, além de gerar uma tensão horizontal maior que o valor do vácuo médio aplicado, -80,5 kPa, como no caso do adensamento unidimensional. A Figura 3.20 ilustra o esquema de válvulas, onde através da válvula 1A aplicava-se a tensão confinante na câmara triaxial, a 1B conectava a câmara triaxial ao MVV e a 1C ligava a medição da tensão confinante ao transdutor de pressão, que após a estabilização da tensão aplicada ao sistema, 200 kPa, era mantida fechada.

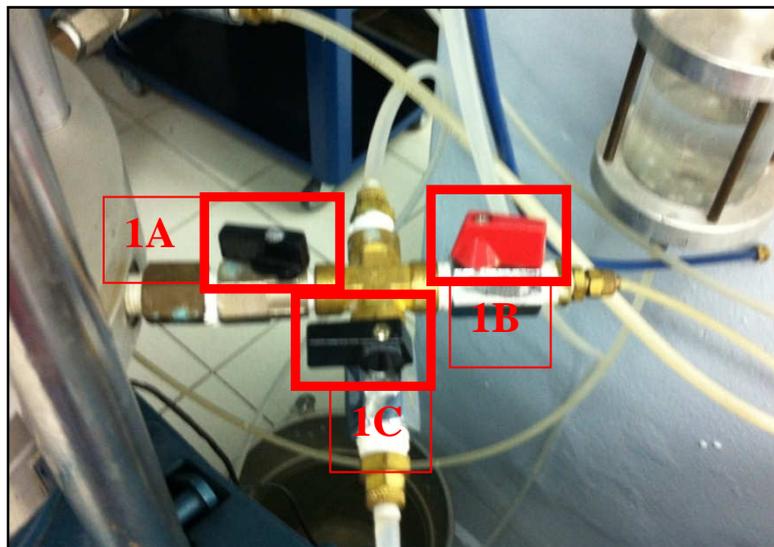


Figura 3.20 – Válvulas responsáveis pela aplicação da tensão confinante e medição do MVV

A Figura 3.21 ilustra o conjunto de válvulas responsáveis pela poropressão no topo da amostra. As válvulas 2B e 2C ficavam abertas, a fim de ligarem o sistema do topo ao transdutor de pressão. A válvula 2A era fechada, pois esta fazia a ligação do transdutor a base 2, onde a pressão de vácuo ou atmosférica foram aplicadas.

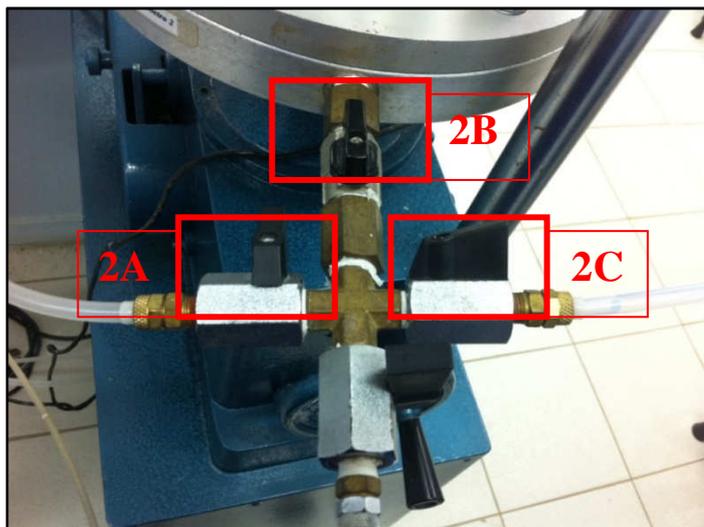


Figura 3.21 - Válvulas responsáveis pela medição da poropressão no topo da amostra

Em ambos os ensaios realizados, a aplicação de vácuo ou da pressão atmosférica, foi similar à aplicação do sistema do adensamento unidimensional. O mesmo era liberado para o tanque com a interface ar/água, medindo a estabilização do mesmo através do manômetro digital, conectado em uma das válvulas na parte superior do tanque.

A Figura 3.22 ilustra o conjunto de aplicação das pressões (vácuo ou atmosférica). A válvula 3A e 3C liga a base 2 da amostra (por onde sai a água da amostra) ao tanque com a interface. A válvula 3B não foi utilizada para execução do ensaio.

Posteriormente, as válvulas, que ligam a mangueira do tanque à base da amostra foram abertas, iniciando a drenagem da amostra.

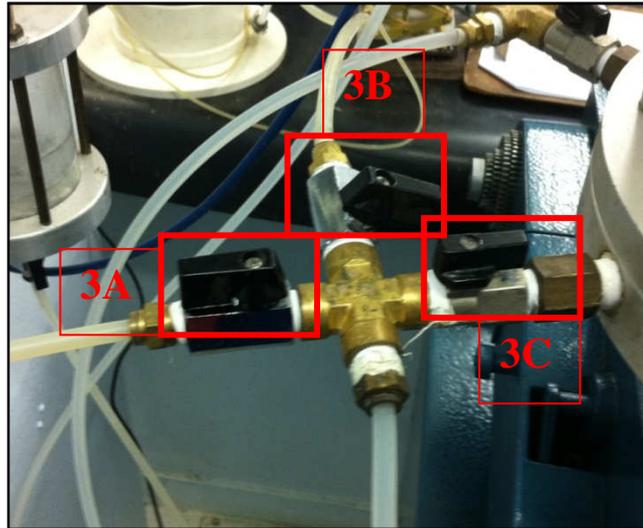


Figura 3.22 - Válvulas responsáveis pela aplicação da pressão de vácuo ou atmosférica

A altura da interface ar/água do tanque foi mantida na metade da altura do corpo de prova, através da regulagem da altura durante o ensaio. A água do tanque foi monitorada, para que não houvesse borbulhamento, garantindo assim a vedação e aplicação do vácuo.

No caso do ensaio onde o adensamento ocorre com a liberação para a pressão atmosférica, as duas válvulas superiores do tanque foram abertas (através de um engate rápido), para o ar, e a mangueira do tanque foi ligada à amostra da mesma forma, como no ensaio com vácuo.

Durante o ensaio, as válvulas que conectam a mangueira do tanque à amostra foram mantidas abertas, bem como a válvula que libera as medições da poropressão no topo da amostra, até a estabilização da poropressão na amostra, isto é, uma variação de 0,5 kPa/hora.

Neste ensaio foram registradas as medições de poropressão no topo da amostra, a variação do volume da câmara triaxial, o vácuo e o tempo através do cronômetro.

A variação da saída de água do corpo de prova, por ação conjunta da aplicação da tensão confinante e do vácuo, ou da pressão atmosférica, foi considerada como a variação do MVV da câmara triaxial, sendo comparada com os resultados da variação da umidade e da geometria, medidos antes e depois da execução do ensaio.

Após a execução do ensaio com vácuo, a bomba de vácuo foi desligada e o vácuo retirado, através do engate rápido, esperando estabilizar a um valor aproximado de zero.

Depois da estabilização da poropressão no topo da amostra, as válvulas de saída para a base e para o topo foram fechadas. A tensão confinante foi retirada e em seguida, a água da célula triaxial também.

O corpo de prova foi retirado do pedestal com bastante cuidado, para minimizar o amolgamento da amostra, levado para a câmara úmida, e cortado com uma corda de violão em fatias de alturas aproximadamente iguais. Foram medidas as umidades e as geometrias (diâmetro e altura médio) de cada fatia, para calcular a variação do volume da amostra.