

3

Equipamentos e Metodologias de Ensaio

3.1.

Introdução

Como já foi citado no Capítulo 1, o interesse principal desta dissertação foi obter parâmetros que permitissem conhecer a susceptibilidade ao colapso do solo sob percolação de soluções alcalinas, e estudar o transporte de solutos no mesmo. Como aspecto secundário, foram estudadas também as mudanças na sucção do solo.

Para o primeiro dos objetivos, foi realizado um programa experimental constituído de ensaios edométricos denominados Ensaio Tipo 1 e Tipo 2 (descritos no Capítulo 5), que possibilitou avaliar o fenômeno de colapso e o fenômeno de transporte. Estes ensaios foram feitos no Edômetro ADS. Outros ensaios edométricos, denominados Tipo 3, foram executados no equipamento identificado como Células Edométricas Modificadas. Neste ensaio só se investigou o fenômeno de colapso.

Para atender ao segundo objetivo, foram feitos ensaios para medição de sucção, utilizando o equipamento denominado Câmaras de Equalização. Uma relação dos ensaios feitos, indicando o material e o equipamento utilizado, está mostrada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Resumo dos ensaios executados

Tipo de Ensaio	Tipo 1												Tipo 2		Tipo 3		
Equipamento	Edômetro ADS												Edômetro ADS		Células Modificadas		
Série	EnsaioC ₁				EnsaioC ₂				EnsaioC ₃				Ensaio C ₁		-		
Seqüência de Percolação	Água→Licor				Água→Licor				Água→Licor				Água→Licor→ Água		Água→Licor		
C.C. do licor (g/l)	20				70				10				20		20	70	10
Tipo de Amostra	Indeformada				Indeformada				Indeformada				Indeformada		Amolgada		
Gradiente Hidráulico	1,8	1,5	1,0	0,5	4,0	2,0	1,0	0,5	4,0	2,0	1,0	0,5	1,8	1,5	1	1	1
Ensaio de caracterização física																	
Gs	X	X	X														
Granulometria	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ensaio de Caracterização Físico-Química																	
pH e CE	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
CTC e Se	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Fe e Al	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Ensaio de Caracterização Mineralógica																	
Lâminas								X									
Raios X	X	X	X														
Lupa	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Parâmetros de Transporte	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
Curva Característica				X	X	X	X		X	X	X	X					

3.2. Requerimentos do sistema

De forma de obter um bom acompanhamento dos ensaios, foram traçados determinados requerimentos que os equipamentos utilizados deveriam cumprir.

Eles foram:

- Possibilitar o monitoramento da variação de altura do corpo de prova nas diferentes etapas do ensaio,
- Possibilitar a aplicação de pressões verticais passíveis de serem integralmente transmitidas ao longo de toda a altura do corpo de prova,
- Possibilitar a aplicação e controle independente das cargas hidráulicas aplicadas no topo e base do corpo de prova,
- Permitir a quantificação do volume de líquido percolado através do corpo de prova,
- Garantir a compatibilidade do equipamento com líquidos permeantes agressivos.

O monitoramento da variação de altura do corpo de prova foi obtido por meio de extensômetros eletro-mecânicos (transdutores de deslocamento), cuja faixa de trabalho é de 20 mm.

As pressões aplicadas ao corpo de prova foram controladas mediante a utilização de prensas de adensamento tipo Bishop (modificadas para atender às dimensões do corpo de prova) com braço de alavanca com magnificação de carga de 10 vezes.

Por meio da utilização de um dispositivo simples, chamado de frasco de Mariotte, se conseguiu a aplicação e o controle das cargas hidráulicas.

Com respeito à quantificação do volume efluente, esta foi permitida pelo projeto e construção de mini-balanças utilizando células de carga com capacidade de 1 kg.

Para garantir a compatibilidade do equipamento com líquidos agressivos, foi utilizado, em geral, aço inox, teflon, PVC e acrílico.

3.3. Descrição dos equipamentos utilizados

3.3.1. Edômetro ADS

Devido à necessidade de realizar ensaios com material fortemente alcalino e o interesse de se determinar parâmetros de transporte de solutos ao mesmo tempo em que se obtivesse as características de compressibilidade da amostra, foi utilizado, na maior parte dos estudos implementados, um novo equipamento desenvolvido na PUC-Rio, denominado edômetro ADS.

Este novo equipamento consiste de um edômetro especial, que permite a percolação vertical de fluidos agressivos sob gradientes de pressão controlados. As principais diferenças deste edômetro para os convencionais estão presentes nas dimensões e no material utilizado na fabricação das peças. A modificação nas dimensões obedece à necessidade de monitorar a evolução de parâmetros no decorrer do ensaio edométrico, isto obriga à utilização de corpos de prova maiores (7 cm de diâmetro e 9,85 cm de altura). Outra das necessidades era proteger o equipamento contra o ataque do licor alcalino, razão pela qual, as peças foram feitas em PVC, teflon e acrílico.

O equipamento utilizado, projetado pelo Prof. Tácio de Campos e construído no LGMA/PUC-Rio, é constituído por uma célula edométrica modificada; os sistemas de medição, que incluem medição dos volumes percolados (mini-balança) e monitoramento da variação de altura do corpo de prova (extensômetros elétricos); o sistema de aplicação da carga hidráulica (frasco de Mariotte); e o sistema de aquisição de dados (Orion). Na figura 3.1 mostra-se uma vista geral do equipamento.



Figura 3-1 - Vista geral do edômetro ADS

3.3.1.1. Célula de Adensamento

A célula de adensamento é constituída por uma tampa de PVC, um cilindro de aço inox com uma bucha interna de teflon, e uma base de PVC.

A tampa, confeccionada em PVC, possui uma entrada lateral, um furo central, e uma válvula de alívio superior. Também possui um rasgo circular concêntrico para alojar o *top-cap*.

A entrada lateral permite a entrada do fluido ao corpo de prova, mediante a conexão à linha do Mariotte. Através do furo central, passa uma haste de aço inox, que transfere as cargas verticais aplicadas com a prensa ao *top-cap*. Na parede deste furo, encontra-se um *o-ring*, de forma a manter a estanqueidade do conjunto.

A válvula de alívio, na parte superior da tampa, permite evacuar todo o ar que possa ficar retido na linha do Mariotte ao longo do ensaio.

Além do rasgo circular, a tampa possui um rasgo anelar que serve para alojar o cilindro que contém o corpo de prova. Na metade desse rasgo anular, encontra-se um *o-ring* que permite manter a estanqueidade do conjunto.

O *top-cap*, confeccionado em aço inox, possui um rasgo circular para alojar a pedra porosa.

O cilindro que contém o corpo de prova é constituído por dois cilindros concêntricos. O interior, que fica em contato com a amostra, é de teflon e, o exterior, de aço inoxidável. Dois estiletos de fixação asseguram que um cilindro não se movimente em relação ao outro.

A base, também em PVC como a tampa, possui uma entrada perpendicular à secção transversal da mesma. Esta entrada permite a saída do fluido percolado pelo corpo de prova. A base possui um rasgo circular concêntrico para alojar a pedra porosa inferior. Este rasgo circular possui ranhuras que permitem a drenagem inferior. De maneira idêntica com a tampa, a base possui um rasgo anelar que serve para alojar o cilindro, e um *o-ring* para vedar o conjunto.

Quatro hastes de amarração, confeccionadas em aço e providas de porcas, garantem a união do cilindro às tampa e base da célula de adensamento. Nas figuras 3.2 e 3.3, são apresentados a disposição final da célula, e detalhes das partes que a compõem. Na figura 3.4 se apresenta uma secção transversal da célula de adensamento.



Figura 3-2 – Célula de Adensamento montada



Figura 3-3 – Célula de Adensamento desmontada

A célula de adensamento é também utilizada como molde tanto para o caso de se executar ensaios em solo compactado quanto, como no caso do presente trabalho, moldar amostras indeformadas. Para este último caso, foi construída uma extensão em latão, bipartida transversalmente, com ponta

bizelada, que possibilita esculpir o corpo de prova que ficará alojado no cilindro de adensamento.

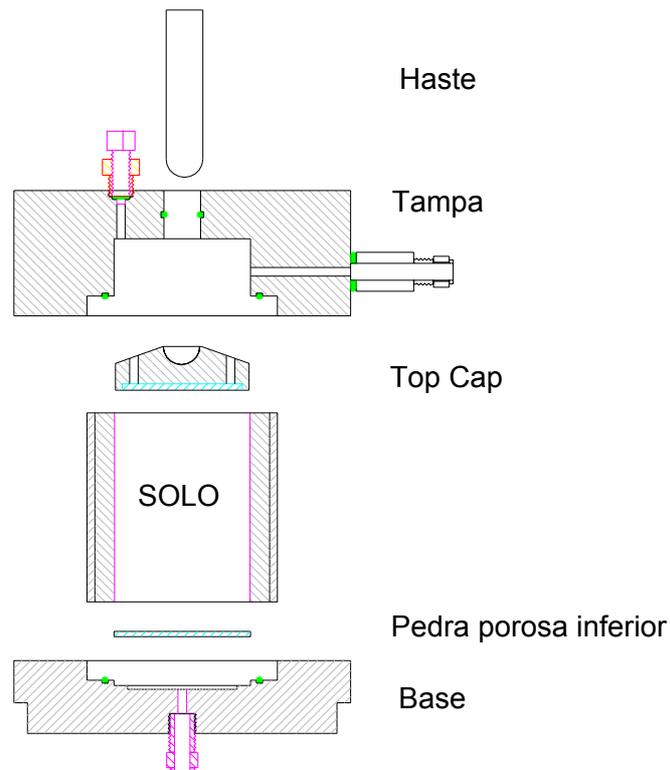


Figura 3-4 – Seção transversal da célula de adensamento

3.3.1.2. Sistemas de Medição

- **Sistema de medição do volume percolado**

Com a finalidade de conhecer o volume de líquido percolado, optou-se pela fabricação de mini balanças. Para a fabricação destas balanças, utilizaram-se células de carga da Alfa Instrumentos, com as seguintes características: Modelo GL1, com uma capacidade nominal de 1 kg, de alumínio anodizado e com uma sensibilidade em mV/V de $2 \pm 10\%$, e uma temperatura de trabalho útil de -5 a 60 °C.

Montou-se a balança provendo a célula de carga com um prato e uma base de acrílico. A balança é ligada a um sistema de aquisição de dados que permite a leitura contínua e direta das grandezas a serem medidas. Na figura 3.5, mostra-se a mini-balança montada.

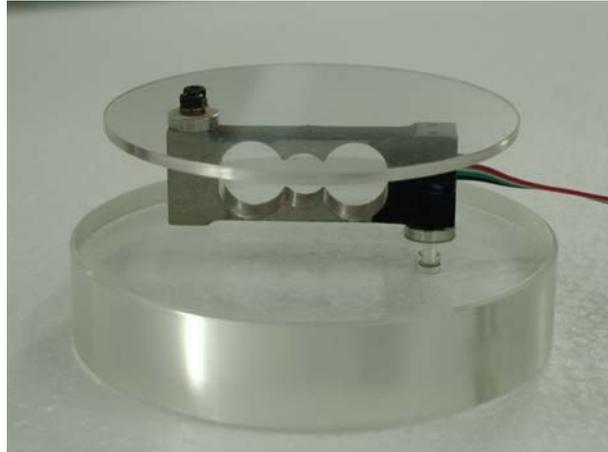


Figura 3-5 – Vista da mini-balança montada

- **Sistema de Medição da Variação da altura do corpo de prova**

A medição da variação da altura da amostra é realizada por meio de extensômetros eletro–mecânicos, colocados em contacto com a haste de aço inoxidável na tampa da célula de adensamento. A disposição e forma de trabalho do extensômetro são similares às de um ensaio de adensamento normal (ver Figura 3.2). Os extensômetros utilizados foram da KYOMA Electronic Instruments CO, Modelo DT-20D, com capacidade de 20 mm, e com divisões de 0.01 mm. Assim como as células de carga, os extensômetros eram ligados ao sistema de aquisição de dados, o que possibilitou a leitura direta e contínua das grandezas a serem medidas.

3.3.1.3. Sistema de Aplicação da Carga Hidráulica

A necessidade de aplicar uma carga hidráulica constante ao corpo de prova nas diferentes etapas do ensaio foi o que levou ao desenvolvimento de um frasco de mariotte. Este dispositivo permite a aplicação de uma carga hidráulica constante, e tem um princípio de funcionamento bastante simples, sendo também de fácil construção.

Pela natureza agressiva dos licores cáusticos, foi feito integralmente em acrílico, e é composto por uma base, um cilindro e uma tampa. Tanto a base como a tampa tem um rasgo anelar provido de um *o-ring*, que permitem alojar o cilindro e garantir a estanqueidade do conjunto.

A base possui uma entrada que possibilita a saída do fluido para alimentar a amostra. A tampa possui dois furos. Através do furo central é instalado um

tubo de diâmetro reduzido que permite regular a carga aplicada. Na parede deste furo encontra-se um *o-ring*. O outro furo permite o preenchimento do Frasco de Mariotte e, quando o mesmo está em funcionamento, é vedado com um parafuso de PVC com um *o-ring* na ponta para garantir a estanqueidade e o correto funcionamento do conjunto. Uma vista geral do frasco de mariotte é mostrada na figura 3.6, e um detalhe com a conexão com a célula de adensamento, na figura 3.7.

3.3.1.4. Sistema de Aquisição de Dados

O sistema de aquisição de dados permite o monitoramento contínuo das grandezas necessárias para o acompanhamento dos ensaios. O sistema Orion SI353ID da Data Acquisition System, permite a gravação dos 8 instrumentos utilizados (mini balanças e extensômetros elétricos) a intervalos de tempo regulares.



Figura 3-6 – Frasco de Mariotte montado.



Figura 3-7 – Vista da conexão entre o Mariotte e a célula edométrica.

3.3.2. Câmaras de Equalização

As câmaras de equalização são constituídas por três partes principais: a tampa, o anel e a base. O projeto das mesmas segue o utilizado na tese de Villar (2002).

A tampa, confeccionada em latão, possui um furo central, através do qual é colocado um parafuso de latão. O parafuso é provido de um anel de borracha para permitir a vedação do conjunto. A tampa possui, também, um rasgo circular concêntrico para alojar um disco de PVC (5 cm de diâmetro). O parafuso pode-se deslocar permitindo exercer uma pressão sobre o disco de PVC. Além do rasgo circular, a tampa tem um rasgo anelar que permite alojar o cilindro que contém a amostra.

O anel, também de latão, permite alojar outro anel de aço inox (2 cm de altura e 5 de diâmetro) no qual é moldada a amostra. O anel de latão tem *o-ring* tanto nas partes superior e inferior quanto na parede interna, permitindo assim, quando fechado, uma boa vedação do conjunto.

A base feita em latão, como o restante das peças, é similar à tampa. Ou seja, possui um rasgo anelar que permite alojar o cilindro. Completa o conjunto uma tela fina de material inerte, que serve para separar o solo do papel filtro nas medições de sucção total.

O conjunto é mantido unido por quatro parafusos.

A figura 3.8 mostra a aparência final do arranjo, e a figura 3.9, detalhes do equipamento. Na primeira figura, o equipamento montado aparece ao lado de um anel de moldagem de 2 cm de altura, para dar uma idéia do tamanho da câmara.



Figura 3-8– Câmara de Equalização montada



Figura 3-9 – Câmara de Equalização desmontada.

3.3.3. Células Edométricas modificadas

No ensaio Tipo 3, trabalhou-se com células edométricas de dimensões menores que as já descritas, e similares às células edométricas convencionais. Estas células, também projetadas pelo Prof. Tácio de Campos e fabricadas no LGMA/PUC-Rio, são compostas basicamente de quatro partes: a tampa, o *top-cap* e a base, todas elas em PVC, e o anel de adensamento (que é também anel moldador), em aço inoxidável.

A tampa é constituída por um cilindro provido de uma entrada lateral para fluido, e com um furo central que possibilita o alojamento tanto do *top-cap* quanto do anel de adensamento, de 7 cm de diâmetro, que contem a amostra. Tanto na parede do furo que atravessa a tampa quanto onde se insere o anel de adensamento encontram-se *o-rings* que possibilitam a vedação do sistema.

O *top-cap* é uma peça de seção circular, com diâmetro igual ao diâmetro interno do anel de adensamento. Na sua parte inferior, encontra-se uma pedra porosa.

A base possui, lateralmente, duas entradas de drenagem, opostas uma à outra, e um rasgo circular concêntrico para alojar a pedra porosa e o reservatório

de água de drenagem. Este reservatório, sob a pedra porosa, possui ranhuras que permitem direcionar a água para a saída. A base possui também um rasgo anelar concêntrico para alojar um *o-ring*, que permite a vedação do conjunto, quando a célula está fechada.

Quatro hastes de amarração, providas de porcas, garantem a união da tampa e da base. O conjunto se completa com uma peça auxiliar de PVC flexível, que permite posicionar o *top-cap* quando a amostra já esta montada. Na figura 3.10, mostra-se uma imagem do conjunto, na figura 3.11, apresentam-se detalhes da célula, e na figura 3.12 está apresentada uma secção transversal.



Figura 3-10 – Vista geral das células montadas

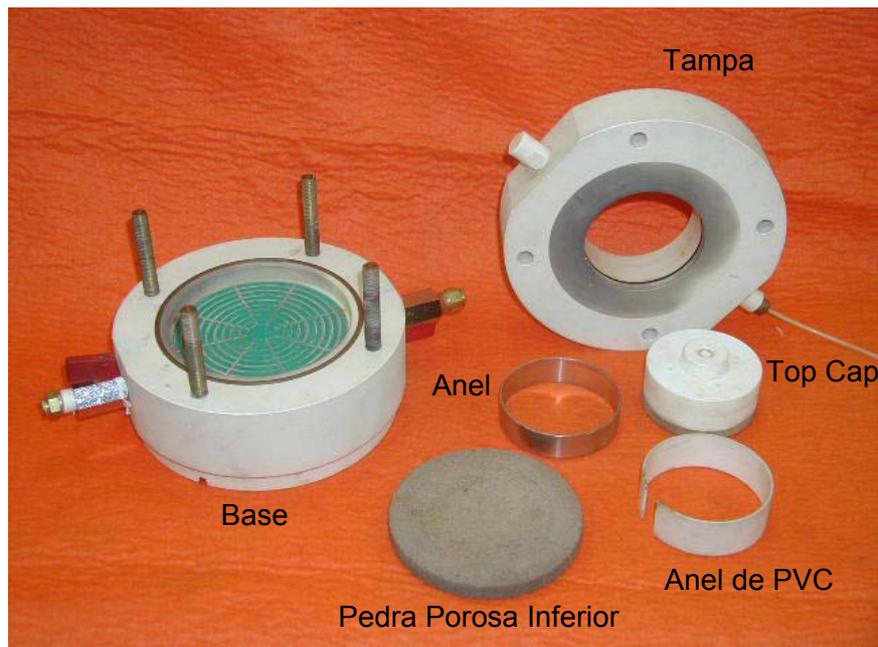


Figura 3-11 – Células de adensamento desmontadas.

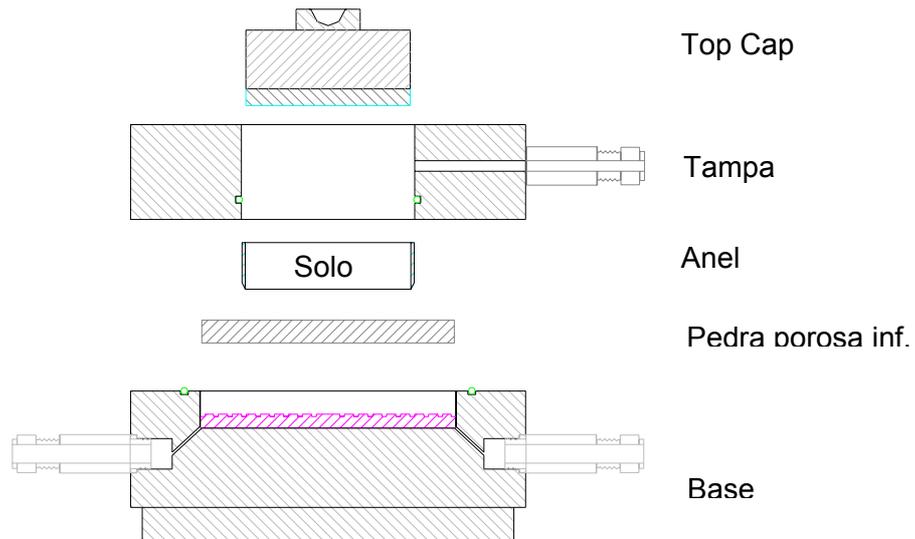


Figura 3-12 – Seção transversal da célula edométrica modificada

3.4. Metodologias de Ensaios

3.4.1. Ensaios Edométricos no Edomêtro ADS

3.4.1.1. Moldagem e Montagem do corpo de prova

Tanto a moldagem quanto a instalação dos corpos de provas foram efetuadas de maneira similar à seguida no ensaio de adensamento convencional. Os corpos de provas foram talhados a partir de blocos indeformados, com ajuda do anel bixelado (figura 3.13).

Durante a moldagem, foi retirado material do topo e da base para obter o teor de umidade inicial do corpo de prova. Em seguida, o mesmo era pesado, juntamente com o cilindro, e transferido à célula edométrica contendo um papel filtro colocado sobre a pedra porosa inferior. No topo da amostra, colocou-se outro papel filtro, e sobre este, o top-cap e a tampa da célula, fechando todo o conjunto com as hastes. Previamente à operação de montagem do corpo de prova, as pedras porosas e os papéis filtros foram saturados com água.



Figura 3-13 – Extensão em latão para moldar corpos de provas.

Após a montagem da célula edométrica, procedia-se a o nivelamento do braço de alavanca da prensa. Em seguida, colocava-se em contato a parte superior da célula com a linha do Mariotte, com a válvula de drenagem fechada, e com o extensômetro vertical.

Logo após deste trabalho de montagem, procedia-se a aplicação da tensão vertical. Transcorrido um intervalo de tempo pequeno (10-20 s), era aberta a válvula que comunica com o mariotte, aplicando-se, então, a carga hidráulica. Em seguida, eram registradas, ao longo do tempo, as leituras de deslocamento vertical e volume efluente, utilizando-se a instrumentação eletrônica conectada ao sistema central de aquisição de dados do Laboratório.

3.4.1.2.

Execução do ensaio

Após a operação de montagem, descrita no item anterior, começava-se o processo de saturação do corpo de provas, por percolação, com água destilada. Registraram-se as leituras de volume percolado e deslocamento vertical a intervalos de tempo pré-determinados (em geral, utilizou-se 30 minutos), sendo tais dados imediatamente plotados. Quando a relação volume versus tempo atingia um crescimento linear se dava por finalizada a etapa de saturação. Então, se procedia a troca do líquido do Mariotte (água destilada) pelo licor cáustico na concentração desejada, e começavam-se as medições de volume percolado e deslocamento vertical vs tempo.

Pelo fato das paredes internas da célula serem *rígidas*, e ao comprimento do corpo de provas (9,85cm), existia a possibilidade de ter fluxo no contacto entre a parede da amostra e a parede interna da célula, por deficiências de contacto entre ambas superfícies. Quando existiu dúvida que pudesse estar

acontecendo este fenômeno, providenciou-se o descarte do corpo de provas e a troca por outro.

Como se verá no Capítulo 6, foram coletadas amostras de efluente a volumes regulares, em geral a cada um volume de vazios, para medir a condutividade elétrica do efluente, e conseqüentemente a concentração da solução, a fim de obter a curva de *break-trough* do contaminante. O ensaio era finalizado quando se obtinha uma concentração do efluente igual à concentração da solução no Mariotte, ou quando a mudança na leitura do deslocamento vertical era mínima (sem mudança no segundo decimal da leitura em milímetros). Dentre estes dois, o fenômeno de maior duração era o que definia a duração do ensaio. Em geral, foi atingida em primeiro lugar a estabilização do deslocamento vertical, sendo que atingir a concentração de 100% foi um processo mais demorado.

Finalizado o ensaio, devido à natureza do material ensaiado (uma areia fina com uma pequena porção de finos), a desmontagem do corpo de prova não pôde ser feita em condições saturadas (a amostra não apresentava nenhuma coesão). Por isso, optou-se por deixar que o material perdesse umidade, fechando a válvula de alimentação, mas deixando aberta a válvula de drenagem. Para conhecer a porcentagem de umidade final do corpo de prova, pesava-se o conjunto logo de finalizado ao final do ensaio (conhecendo a tara da célula edométrica, calculava-se o peso final da amostra).

Pesava-se a célula completa e fechada a intervalos de tempo determinados para determinar quanto líquido tinha saído da amostra e se o grau de saturação era suficiente para desmontá-la. Em geral, optou-se por um grau de saturação de aproximadamente 80 % para desmontar os corpos de prova.

Atingido o grau de saturação desejado, procedia-se à desmontagem da amostra. Primeiro, ela era retirada do cilindro, procurando perturba-la o mínimo. Em seguida, ela é medida e, após retirar uma sub-amostra para determinar o teor de umidade, era embalada em várias camadas de papel filme, e protegida com talagarça e parafina. Após adequadamente identificadas, cada amostra era reservada na câmara úmida para a execução de ensaios de curva característica de sucção e granulometria. A amostra utilizada na determinação do teor de umidade, após seca em estufa e pesada, foi utilizada para as determinações de pH e condutividade elétrica, assim como para a determinação dos conteúdos de ferro e alumínio, CTC e superfície específica.

3.4.2. Ensaio Edométricos nas Células Edométricas Modificadas

Em linhas gerais, neste ensaio utilizou-se um procedimento similar ao descrito no item anterior, no que diz respeito à calibração e execução do ensaio. A principal diferença entre ambos encontra-se na moldagem da amostra, que, para este caso, foi feita com material passante na peneira # 200 compactado com uma umidade e densidade predeterminadas, correspondentes às umidade e densidade dos finos do material do Ensaio 1. Assim, tomou-se material do Ensaio 1 sem contaminar e lavado na peneira 200, e após secagem ao ar, obteve-se a fração passante na peneira # 200. Após destorroar e homogeneizar este material, foram coletadas amostras para determinar o conteúdo de umidade. Conhecido o teor de umidade da amostra, adicionou-se água na quantidade necessária para atingir o grau de umidade desejado, deixando o material homogeneizar na câmara úmida por 24 horas. Logo, procedeu-se a compactação do material estaticamente, para atingir a densidade desejada. Obtida esta densidade, moldaram-se os corpos de prova com auxílio dos anéis de adensamento.

Diferentemente do ensaio no Edomêtro ADS, neste ensaio o final foi determinado quando não se perceberam mudanças na leitura de deslocamento vertical. Atingida esta situação, as amostras foram desmontadas, e logo em seguida, medidas e retirada uma porção para umidade. Reservou-se o restante da amostra, embrulhado em papel filme, para observação no microscópio, e para os ensaios de sedimentação.

3.4.3. Ensaio de Sucção

O método utilizado para determinar a curva característica de sucção dos materiais ensaiados foi o método do papel filtro. No Capítulo 7, encontra-se tanto a revisão teórica como os comentários do método, limitando-se este capítulo à descrição do procedimento de ensaio utilizado.

A moldagem das amostras foi feita com auxílio de um anel metálico, com 50mm de diâmetro e 20mm de altura. No caso das amostras sem contaminar, elas foram talhadas a partir dos blocos indeformados. As amostras contaminadas foram talhadas das amostras reservadas dos ensaios edométricos.

O procedimento utilizado no ensaio foi basicamente o descrito por Marinho (1994), levando-se em conta para a determinação da massa do papel filtro no instante $t=0$, o método proposto por Villar (2002). Descreve-se, a seguir, algumas características do procedimento utilizado:

- O papel filtro utilizado foi o Whatman No. 42, cortado no mesmo diâmetro que a amostra de solo,
- O papel filtro foi utilizado em condições de seco ao ar, ou seja, sendo retirado diretamente da sua caixa,
- A calibração utilizada foi a de Chandler e Gutierrez (1986) e Chandler (1992)

$$w_f < 47 \rightarrow \text{Sucção}(kpa) = 10^{(4.842 - 0.0622w_f)}$$

$$w_f > 47 \rightarrow \text{Sucção}(kpa) = 10^{(6.050 - 2.48 \log w_f)}$$

Utilizou-se esta calibração tanto para o cálculo da sucção mátrica como total.

Logo que as amostras eram moldadas e tivessem atingido a umidade desejada, eram colocadas nas câmaras de equalização. Para isto, eram mantidas no anel de moldagem, e este era colocado no anel da câmara de equalização. Este é um processo que requer cuidado, tendo-se procurado sempre perturbar ao mínimo a amostra.

Na base da câmara, colocava-se um disco de papel filtro, seguido da tela de material inerte que serve para separar o solo do papel filtro nas medições de sucção total. Em seguida, vem o anel com a amostra de solo, e, sobre este, outro disco de papel filtro, que fica em contato direto com o solo, para as medições de sucção mátrica. Para assegurar o bom contacto entre eles, colocava-se o disco de PVC. A seguir, com sumo cuidado e rapidez, procurando não movimentar o disco de PVC e o papel filtro superior, era colocada a tampa, fechando o conjunto com os quatro parafusos. Tendo o conjunto fechado, descia-se um pouco o parafuso central, para que exercesse pressão sobre o disco de PVC, garantindo assim um bom contato entre o papel filtro e o solo. Na figura 3.14, se mostra uma secção transversal da câmara de equalização.

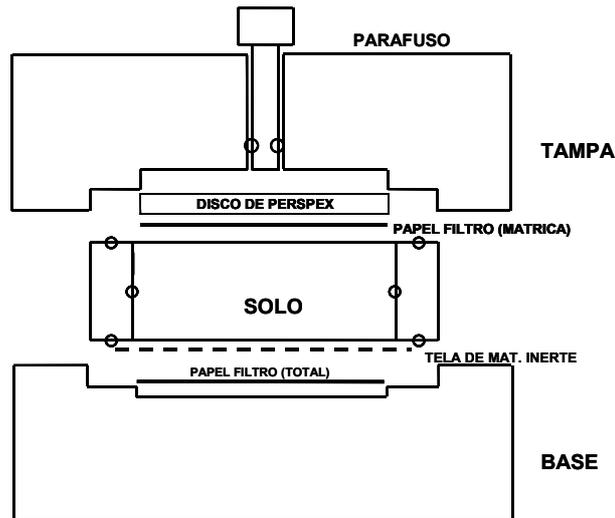


Figura 3-14 – Seção transversal da câmara de equalização.

Após estas operações, as câmaras eram colocadas em uma caixa de isopor, e mantidas em uma sala com temperatura controlada (câmara úmida). As amostras foram deixadas neste ambiente por um período de tempo que dependia do nível de sucção a ser medido, respeitando para estes tempos, a recomendação de Marinho (1994). Tanto para os casos de medição de sucção total como mátrica, o período de tempo mínimo utilizado foi de 7 dias.

Finalizado este período de equalização, as câmaras eram abertas ao lado da balança de precisão de 0.0001 g. O papel era removido com pinças e imediatamente colocado na balança. A partir da abertura da câmara, começava-se a monitorar a perda de umidade do papel filtro por três minutos, com leituras de 10 em 10 segundos nos dois primeiros minutos, e a cada 15 segundos no minuto restante. Finalizada a pesagem do papel filtro, colocava-se o mesmo em uma cápsula, e levava-se o à estufa a 105 °C por um tempo mínimo de 2 horas. Após o período de secagem, os papeis eram novamente pesados, com a mesma metodologia que para o caso úmido.

Uma vez pesados os dois papéis filtro, o solo era também pesado, neste caso, numa balança de duas casas decimais, e levado à estufa a 105-110 °C por 24 horas. Após a secagem, o solo era novamente pesado para determinar seu conteúdo de umidade.

Tanto com os dados de ganho de umidade (papel seco) como com os de perda (papel úmido), montava-se um gráfico de variação de peso do papel filtro contra tempo. Com estes gráficos e fazendo uma interpolação para o tempo zero, foi possível conhecer o peso inicial do papel filtro.

O comportamento do papel filtro, tanto no ganho como na perda de umidade, foi variável e se poderia dizer que depende da sua umidade inicial. Em geral, para o papel filtro úmido, o melhor ajuste foi linear, e para o papel filtro seco, o melhor ajuste foi exponencial. Onde se apresentaram comportamentos diferentes a estas tendências, foi analisado individualmente o melhor ajuste.

Nos casos onde só se fizeram medições de sucção matricial, não foram utilizadas as câmaras de equalização, e colocou-se um papel filtro a cada lado da amostra. Em seguida, o anel com o material era embrulhado com várias camadas de papel filme, seguidas de outras, de papel alumínio. Após, o material era colocado em uma caixa de isopor, que por sua vez era mantida em uma sala com temperatura controlada (câmara úmida).

Além do descrito até aqui, um outro aspecto importante é a preparação das amostras com diferentes conteúdos de umidade. No caso das amostras não contaminadas, elas foram secadas ao ar e, quando foi necessário adicionar água, isto foi feito por pesagens. Colocada a quantidade de água calculada, aumentada em cerca de 10% para levar em conta possíveis perdas, as amostras eram embrulhadas em várias camadas de papel filme, logo colocadas em uma caixa de isopor e esta era deixada em um ambiente de temperatura controlada por dois dias. Finalizado este prazo de homogeneização da umidade, as amostras estavam prontas para receber o papel filtro.

Com as amostras contaminadas, o procedimento foi diferente. Como estas amostras provinham do ensaio edométrico, encontravam-se com um grau de umidade elevado, perto da saturação. Devido à natureza do contaminante, elas não podiam ser secas ao ar, tendo em vista que, em contacto com o ambiente, se forma na superfície das amostras uma película de pó branco. Para contornar esta situação, experimentou-se secá-las por contato com papel absorvente. Este procedimento de secagem mostrou-se adequado, já que as amostras não apresentaram formação do pó branco na superfície.

Quando a situação era de umedecimento, adicionava-se o peso necessário de licor, embrulhava-se as amostras com várias camadas de papel filme e a seguir eram colocadas em uma caixa de isopor por dois dias para homogeneizar a umidade. Cumprido este prazo, as amostras estavam prontas para a colocação do papel filtro. O período de dois dias para homogeneizar a umidade mostrou-se adequado para a maioria das amostras ensaiadas, com os valores de umidade esperados e os valores obtidos na prática tendo ficado muito próximos.