

3

Equipamento de Cisalhamento Direto com Sucção Controlada da PUC-Rio

3.1.

Aspectos Históricos e Generalidades

O estudo das características de resistência ao cisalhamento de solos não saturados tem sido objeto de varias pesquisas nas últimas décadas. Somente a partir de 1980 é que houve um grande avanço nesse estudo através do desenvolvimento de equipamentos de laboratório capazes de simular o controle da sucção.

A maioria desses estudos foi realizada em solos sedimentares e compactados, geralmente sendo utilizado o equipamento triaxial com sucção controlada (e.g. Ho & Fredlund, 1982; Abramento & Carvalho, 1989). De Campos & Carrillo (1995) acreditam que o equipamento de cisalhamento direto com sucção controlada seja uma melhor ferramenta para estudos de resistência de solos residuais não saturados, quando comparado com o equipamento triaxial com sucção controlada, por dois motivos:

- Uma menor altura da amostra de solo no equipamento de cisalhamento direto fornece um menor tempo de equalização da sucção dentro da amostra.
- No equipamento podem facilmente ser conduzidos ensaios em direções de potenciais planos de fraqueza, como os planos de xistosidade de solos residuais.

O primeiro equipamento de cisalhamento direto com sucção controlada foi desenvolvido na Espanha, por Escáριο (1980). Posteriormente, em 1989, Escáριο

apresentou uma nova versão do equipamento. Outro equipamento similar foi desenvolvido por Gan & Fredlund (1988).

O equipamento de cisalhamento direto com sucção controlada da PUC-Rio, sendo aqui abreviado por CDSC, foi projetado por de Campos (1988), visando o estudo de solos residuais, e desenvolvido por Fonseca (1991). Na tabela 4 encontram-se algumas características desse e dos demais equipamentos citados anteriormente.

Tabela 4: Principais características dos equipamentos CDCS (adaptado de Fonseca, 1991).

Características do equipamento	Escário (1980)	Gan & Fredlund (1988)	Escário (1989)	PUC-Rio (1991)
Tamanho da amostra (mm)	(50 x 50 x 22)	(50 x 50 x 22)	(50 x 50 x 22)	(100 x 100 x 21,8)
Elemento drenante*	DAVE ou MSP (até 1500kPa)	DAVE (até 500kPa)	DAVE ou MSP (até 1500kPa)	DAVE (até 300kPa)
Fluido usado na câmara de compressão	nitrogênio	ar comprimido	nitrogênio	ar comprimido
Uso da técnica de translação de eixos	sim	sim	sim	sim
Medida de volume de água	não	sim	não	sim
Parte da caixa que desloca	superior	inferior	superior	inferior
Forma de transmissão da carga vertical	pistão	pistão	câmara de nitrogênio	célula de carga
Medida dos deslocamentos vertical e horizontal	mecânica	elétrica	mecânica	elétrica
Uso de prensa convencional	não	sim	sim	sim
Caixa de cisalhamento constitui anel moldador	não	não	não	sim
Manutenção da separação das duas caixas durante o cisalhamento	não	não	sim	sim

* DAVE – Disco cerâmico de alto valor de entrada de ar
MSP – Membrana semi-permeável

3.2.

Descrição do Equipamento CDSC da PUC-Rio

O equipamento é constituído basicamente de uma câmara de compressão para a aplicação da pressão de ar na amostra e de uma caixa de cisalhamento que é colocada dentro dessa câmara. O controle das pressões de ar e água é feito através de um painel de controle ligado ao equipamento. A figura 16 mostra uma foto do equipamento. Um esquema detalhado do mesmo é apresentado na figura 17.

Instrumentos elétricos como transdutores de pressão e de deslocamento, células de carga e medidor de variação volumétrica, foram utilizados para aquisição dos dados, sendo capturados pelo sistema de aquisição de dados. Todos os transdutores são resistivos e são excitados com uma tensão de 10V. O sistema de aquisição de dados (SAD) e a fonte de alimentação são mostrados na figura 18.

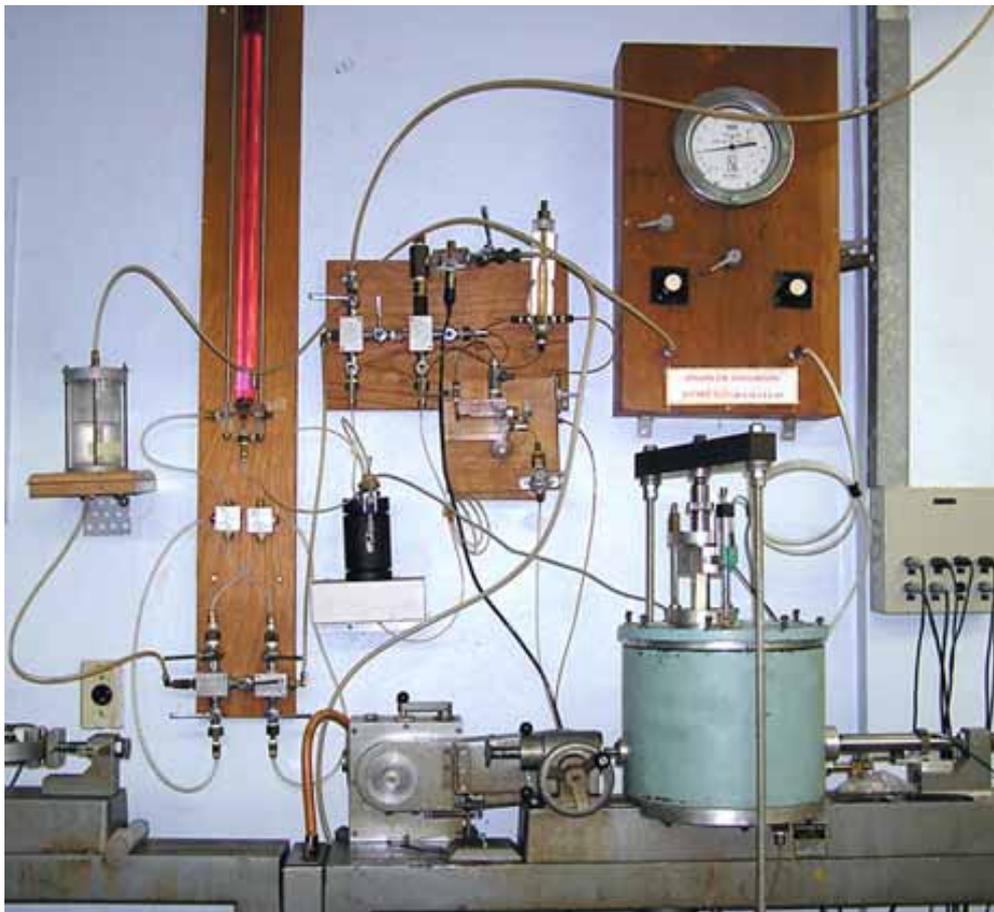
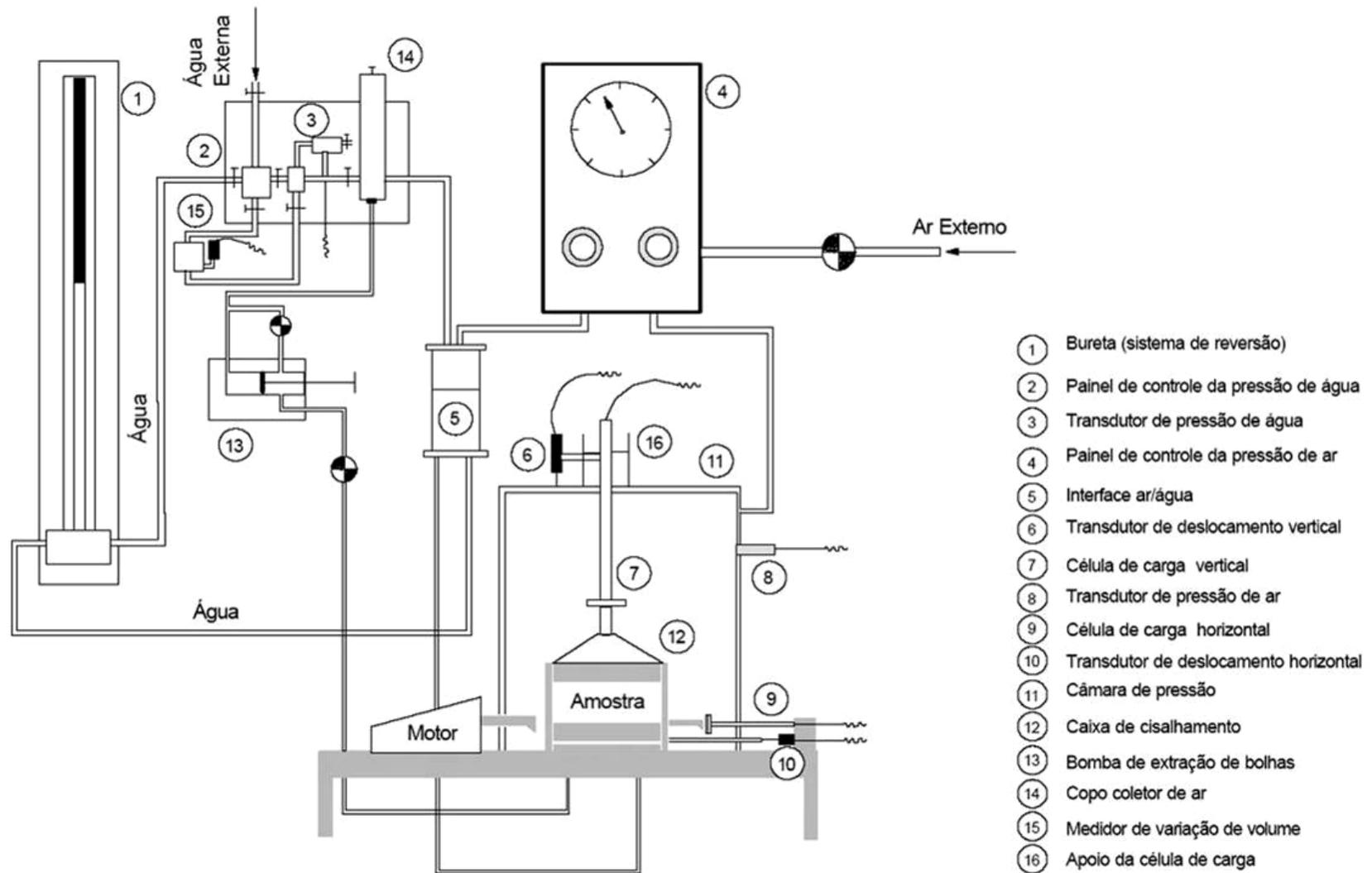


Figura 16: Fotografia do equipamento CDSC.



- ① Bureta (sistema de reversão)
- ② Painel de controle da pressão de água
- ③ Transdutor de pressão de água
- ④ Painel de controle da pressão de ar
- ⑤ Interface ar/água
- ⑥ Transdutor de deslocamento vertical
- ⑦ Célula de carga vertical
- ⑧ Transdutor de pressão de ar
- ⑨ Célula de carga horizontal
- ⑩ Transdutor de deslocamento horizontal
- ⑪ Câmara de pressão
- ⑫ Caixa de cisalhamento
- ⑬ Bomba de extração de bolhas
- ⑭ Copo coletor de ar
- ⑮ Medidor de variação de volume
- ⑯ Apoio da célula de carga

Figura 17: Esquema geral do equipamento CDSC.

As calibrações dos instrumentos elétricos e suas respectivas curvas são apresentadas no apêndice A. Neste mesmo apêndice encontram-se também as especificações desses instrumentos bem como a do sistema de aquisição de dados.



Figura 18: Sistema de aquisição de dados e fonte de alimentação.

A seguir é apresentada uma descrição detalhada de cada componente do equipamento CDSC.

3.2.1.

Câmara de compressão

A câmara de compressão possui uma forma cilíndrica com dimensões de 210mm de altura, 250mm de diâmetro interno, parede de 15mm de espessura, sendo seu corpo construído em aço, e sua base e topo em duralumínio. Essa câmara suporta pressões de até 1000kPa com segurança.

A tampa possui um orifício por onde passa a célula de carga vertical, sendo feita a vedação através de um anel de vedação conhecido como “o-ring”. Na tampa existe ainda um visor circular de acrílico que permite o acompanhamento visual do ensaio. A tampa e a base são fixadas no corpo através de 16 parafusos, 8 para a tampa e 8 para a base, sendo vedadas também através de “o-rings” para se evitar vazamento de ar.

Dentro da câmara de compressão estão instalados a célula de carga horizontal, o transdutor de pressão de ar e a haste que faz a ligação entre a caixa de cisalhamento e o transdutor de deslocamento horizontal que fica localizado na parte exterior da câmara.

A caixa de cisalhamento é encaixada no pino do motor para a aplicação da força vertical. Além disso ela desliza sobre dois trilhos fixados na base da câmara de compressão. Esta base possui também duas passagens de alimentação de água que são conectadas a uma câmara localizada na base da caixa de cisalhamento. A figura 19 mostra um desenho esquemático da seção lateral da câmara de compressão.

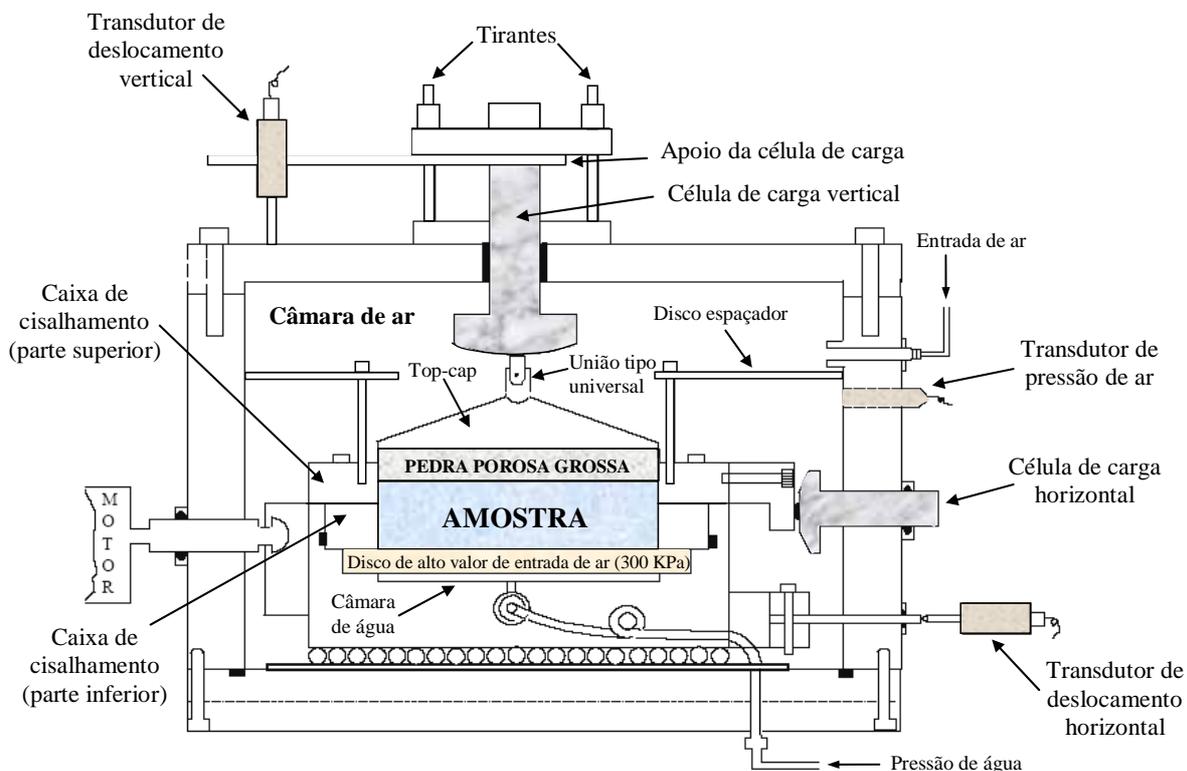


Figura 19: Desenho esquemático da seção lateral da câmara de compressão.

3.2.2.

Caixa de cisalhamento

A caixa de cisalhamento tem formato externo circular, sendo que sua base, onde o disco cerâmico de alta entrada de valor de ar (DAVE) é colado pelas bordas, é feita de duralumínio e as partes inferior e superior em latão. Nessas partes inferior e superior existe um rasgo concêntrico de seção quadrada de 100mm de lado onde a amostra de 21,8mm é posicionada.

O DAVE utilizado neste trabalho é um disco cerâmico poroso de granulação fina com 7,3mm de espessura, 146mm de diâmetro e pressão de borbulhamento de 3bar (300kPa). Ele possui a propriedade de ser permeável a água mas não permite a passagem do ar. O valor da pressão de borbulhamento limita a sucção mátrica máxima aplicada no ensaio a 300kPa. A figura 20 mostra a caixa de cisalhamento fechada com o DAVE.



Figura 20: Caixa de cisalhamento fechada com o DAVE.

Na base da caixa de cisalhamento, logo abaixo do disco cerâmico, existe uma câmara de água formada por pequenos canais interligados que é pressurizada no decorrer do ensaio. Esta câmara de água é ligada ao sistema de aplicação de pressão de água, medidor de variação volumétrica e bomba para retirada de água, através de duas canalizações localizadas na face externa da base da caixa de cisalhamento (figura 20). A figura 21 mostra a câmara de água em detalhe.



Figura 21: Câmara de água e o DAVE.

Para garantir a separação das partes superior e inferior da caixa de cisalhamento durante o ensaio, são utilizados quatro parafusos que ligam um disco espaçador metálico à parte superior da caixa. Esse disco é fixado na parede da câmara de ar e através dos parafusos, levanta-se a parte superior da caixa promovendo a separação das duas partes, sendo que esta separação é medida por dois extensômetros mecânicos. Logo após ser atingida a separação desejada, os extensômetros são retirados. Os quatro parafusos, o disco espaçador e os dois extensômetros são mostrados na figura 22.



Figura 22: Disco espaçador com os quatro parafusos e os dois extensômetros.

A caixa de cisalhamento é ligada ao transdutor de deslocamento horizontal, posicionado na parte exterior da câmara de compressão, através de uma haste metálica. O encaixe dessa haste com a caixa é feito por meio de um pino de acoplamento conforme mostrado na figura 23.



Figura 23: Detalhe do pino de acoplamento entre a caixa e a haste.

3.2.3.

Sistema de Aplicação de Pressões

3.2.3.1.

Aplicação da Tensão Vertical

A aplicação da tensão vertical é feita de forma convencional, através da colocação de pesos em um pendural previamente calibrado. O pendural fica em contato com a célula de carga e esta com o “top-cap” metálico, que tem a função de distribuir uniformemente a tensão em toda a amostra. O contato da célula de carga com o “top-cap” é feito através de uma união tipo universal, mostrada na figura 24. Este dispositivo foi introduzido por Delgado (1993) com o objetivo de minimizar a variação da força vertical lida pela célula de carga.



Figura 24: União tipo universal

Um apoio circular e dois tirantes fixados na tampa da câmara de compressão, foram introduzidos no equipamento com o objetivo de se evitar que a célula de carga vertical se deslocasse pra cima quando da aplicação da pressão de ar dentro da câmara. Isso ocorria devido à diferença de área da parte superior e inferior da célula de carga, que resultava em uma força vertical para cima. O apoio da célula de carga com os tirantes é mostrado na figura 25.



Figura 25: Apoio da célula de carga com os tirantes.

3.2.3.2.

Aplicação das Pressões de Ar e Água

A aplicação da pressão de ar na câmara de compressão é feita através de ar comprimido gerado por compressores presentes no laboratório. Um painel, composto de duas válvulas reguladoras e um manômetro com resolução de 7kPa, faz o ajuste grosso das pressões. O ajuste fino é feito através dos transdutores de pressão. A aplicação da pressão de água na câmara de água é feita no mesmo painel através da outra válvula, sendo que este ar comprimido entra na interface ar-água, e a partir daí, a câmara de água é pressurizada.

3.2.4.

Sistema de extração de bolhas

Para possibilitar uma medição correta do volume de água, Delgado (1993) introduziu no equipamento um sistema composto de bomba de extração de bolhas, copo de coleta e válvulas. Essa correção deve ser feita em virtude da possível difusão do ar através do disco cerâmico. Neste sistema, um fluxo é gerado através de um bombeamento manual, extraindo as bolhas de ar. Esse ar extraído é então coletado para ser medido pela bureta graduada. Uma foto desse sistema é mostrada na figura 26.

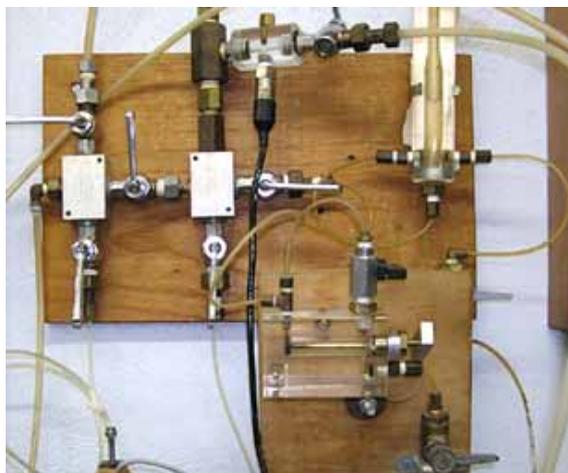


Figura 26: Sistema de extração de bolhas.