



MELHORAMENTOS DO SISTEMA SERVO CONTROLADO DO LABORATÓRIO DE SOLOS DA UCSAL

Bruno Rogério da Hora Lôbo*
Miriam de Fátima Carvalho**
Sandro Lemos Machado***

RESUMO: *Este trabalho apresenta os melhoramentos realizados no sistema servo controlado existente no Laboratório de Solos da UCSal, desenvolvido para realização de estudos da resistência ao cisalhamento de solo sob diferentes condições de carregamento. O sistema servo controlado permite a realização dos diferentes tipos de ensaios triaxiais convencionais, bem como, ensaios com trajetórias de tensão específicas, de forma interativa e de fácil execução, bastando apenas que o operador tenha um conhecimento básico de mecânica dos solos. A partir da utilização do equipamento, foi-se detectando algumas necessidades de melhoria do sistema desenvolvido em pesquisa anterior realizada por Souza em 2006. Os melhoramentos constam de modificações no programa que faz a interação entre a prensa triaxial e o computador, da limpeza, manutenção e cuidados com as alimentações de ar, água e de melhoramentos no sistema de variação de volume e controle das pressões. Também foi construído um acessório para moldagem de corpos prova visando obter maior precisão nas dimensões dos corpos de prova e agilidade na sua confecção.*

Palavras-chave: Sistema servo-controlado; Resistência ao cisalhamento; Equipamentos de ensaios triaxiais.

INTRODUÇÃO

Ao se falar em resistência à compressão, sabe-se que os diversos materiais empregados na construção civil, em destaque o aço, o concreto e os solos em geral, apresentam um bom desempenho à esta solicitação. O mesmo não pode ser constatado em face a esforços cisalhantes.

“No caso dos solos, devido à sua natureza friccional, é possível provar que a sua ruptura ocorre preferencialmente devido ao cisalhamento em planos onde a relação entre a tensão cisalhante e a tensão normal atinge um valor crítico. Estes planos são denominados de planos de ruptura e ocorrem em inclinações às quais são função dos parâmetros de resistência do solo – o atrito e a coesão.” (MACHADO & CARVALHO, 1997, p.80).

“O atrito por definição é uma parcela da resistência que um corpo sólido apresenta para se manter em estado de inércia. Essa parcela é oferecida a nível microscópico pela superfície dos materiais em contato, ou seja, os materiais apresentam efetivamente superfícies rugosas.” (SOUZA, 2006, P. 95). Segundo Pinto (2000), o ângulo de atrito pode ser entendido, também como o ângulo máximo que a força transmitida pelo corpo à superfície pode fazer com a normal ao plano de contato sem que ocorra deslizamento.

A coesão é entendida como sendo uma parcela de resistência do solo que existe sem manter qualquer relação com a tensão aplicada. No caso dos solos coesivos ou cimentados, a presença de uma ligação entre partículas faz com que o esforço necessário para movimentação relativa do bloco seja aumentado de uma parcela que independe da tensão normal, caracterizando assim o fenômeno da coesão.

* Estudante, / Escola de Engenharia / UCSal; bruno.rhl@hotmail.com: autor.

** Prof., Dr., Departamento III / Escola de Engenharia / UCSal; miriam@ucsal.br : orientador

*** Prof., Dr., DCTM / Escola Politécnica/ UFBA; smachado@ufba.br : orientador



Segundo Caputo (1981), o estudo da resistência ao cisalhamento dos solos é de grande importância para a engenharia de solos e fundações. Estabilidade de taludes (aterros, cortes e barragens), empuxos de terra sobre paredes de contenção e túneis, capacidade de carga de sapatas e estacas, são exemplos de problemas de engenharia que dependem dessa variável.

Segundo Haefeli (1951), a correta determinação da resistência ao cisalhamento é um dos problemas mais complexos da mecânica dos solos. Entre as três propriedades principais, compressibilidade, permeabilidade e resistência ao cisalhamento, a última é sem dúvida a mais difícil para se determinar, visto que esta é dependente das duas primeiras (permeabilidade e compressibilidade).

O estudo da resistência ao cisalhamento pode ser feito através de ensaios de campo e de laboratório. Os ensaios de laboratório mais usados são:

- **Cisalhamento direto:**

Consiste em determinar sob uma dada tensão normal (σ) qual a tensão de cisalhamento (δ) capaz de provocar a ruptura de uma amostra de solo colocada dentro de um caixa composta de duas partes deslocáveis entre si. O ensaio pode ser executado sob tensão controlada ou sob deformação controlada. A vantagem desse procedimento está no fato de permitir fácil moldagem em materiais arenosos e na boa definição dos planos preferenciais de ruptura. Uma das desvantagens é a sua ruptura progressiva devido ao deslocamento das caixas e o não controle da drenagem durante a ruptura.

- **Compressão triaxial**

Os ensaios triaxiais são realizados em aparelhos sofisticados que permitem controlar e aplicar forças, medindo as deformações resultantes. É o que mais oferece opções para determinar a resistência do solo, pois, durante as duas fases do ensaio, adensamento e cisalhamento, podem-se variar a drenagem, permitindo-se assim a obtenção de medidas de variação de volume ou de pressão neutra. Além disso, neste ensaio não ocorre a ruptura progressiva e permite ensaios em diversas trajetórias de tensão, uma das desvantagens é a dificuldade durante a moldagem do corpo de prova de areia.

Os ensaios triaxiais convencionais para a determinação da resistência dos solos são:

Ensaio não adensado e não drenado (UU – “unconsolidated undrained”), o teor de umidade do corpo de prova permanece constante e as tensões medidas são tensões totais. Outra observação que é feita nesse ensaio, é quanto a tensão efetiva que permanece inalterada quando o solo está saturado, pois toda tensão confinante é absorvida pela água intersticial.

Ensaio adensado e não drenado (CU – “consolidated undrained”) na fase de cisalhamento as tensões medidas são tensões totais, contudo, fazem-se medidas das pressões neutras, o que permite calcular as tensões efetivas dos solos, obtendo-se assim duas envoltórias de ruptura.

Ensaio adensado e drenado (CD-“consolidated drained”) a principal observação é que a tensão neutra no cisalhamento é praticamente nula, pois é permitida a dissipação da mesma durante todas as fases do ensaio, logo os resultados da análise do solo são referentes a tensões efetivas.

- **Compressão simples**

Este ensaio pode ser entendido como um caso especial do ensaio de compressão triaxial. A tensão confinante é a pressão atmosférica. O valor da tensão principal na ruptura recebe o nome de resistência à compressão simples. Trata-se de um ensaio destinado à solos coesivos. É um ensaio do tipo rápido, simples, de fácil execução e barato.



É importante salientar que os diferentes ensaios realizados num mesmo solo apresentam parâmetros de resistência diferentes, portanto, pode-se afirmar que a resistência ao cisalhamento de um solo não é intrínseca do material, ela depende das condições de carregamento.

A resistência ao cisalhamento do solo é um assunto ainda em fase de estudo e diversos pesquisadores ainda buscam desvendar algumas questões relativas ao assunto, como o controle da pressão neutra e a variação da umidade. Neste contexto, o Laboratório de Solos da UCSal em parceria com a UFBA (Laboratório de Geotecnia Ambiental), desenvolveu e montou um equipamento servo-controlado para estudo da resistência ao cisalhamento de Solos, o qual foi objeto de trabalho de Souza (2006), auxiliada tecnicamente pela Órion Automação. Os recursos para o desenvolvimento do projeto foram apostados pela VEGA, UCSal, UFBA e BNB.

O sistema triaxial existente é altamente flexível em tecnologia predominante nacional. Trata-se de uma ferramenta científica poderosa na área de Geotecnia, no campo de conhecimento do comportamento mecânico dos solos.

Após utilização do equipamento a partir da execução de alguns ensaios, observou-se a necessidade de alguns melhoramentos do sistema desenvolvido para que o mesmo seja aproveitado em sua plena funcionalidade trazendo mais confiança nos resultados. Estes melhoramentos serão apresentados de forma preliminar neste trabalho.

SISTEMA TRIAXIAL DO LABORATÓRIO DE SOLOS DA UCSAL

Trata-se de um sistema constituído por um conjunto de dispositivos desenvolvidos para a realização de ensaios triaxiais e de compressão confinada com controle de tensão. A figura 1 apresenta uma vista geral do equipamento desenvolvido, Souza (2006).

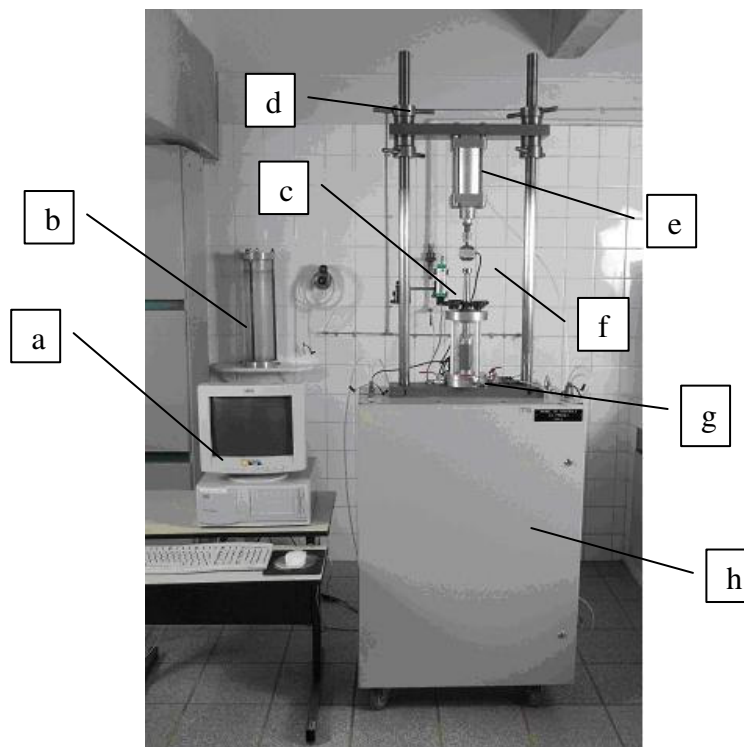


Figura 1 - Sistema de aquisição de dados e servo controle utilizado para a realização de ensaios triaxiais e de compressão confinada em amostras de solo.



- a- Micro computador utilizado para processar o programa do equipamento;
- b- Interface utilizada para pressurizar a água de alimentação da prensa;
- c- LVDT (transdutor linear variável diferencial) utilizado para medir as deformações axiais do corpo de prova;
- d- Pórtico de sustentação do pistão;
- e- Pistão responsável por transmitir o acréscimo de carga ao solo;
- f- Célula de carga destinada a fazer as leituras de carga aplicada;
- g- Célula triaxial;
- h- Caixa / corpo da prensa onde estão abrigados em lados opostos os painéis elétrico e mecânico.

“Pode-se subdividir o equipamento em duas partes principais: uma mecânica e outra elétrica, com suas referidas funções, além de outra parte secundária que é a eletrônica. Nas figuras 2 e 3 são mostradas as partes elétrica e mecânica respectivamente. No que se refere à parte elétrica / eletrônica conforme se pode observar, o sistema é composto basicamente de um controlador lógico programável CLP (controlador lógico programável), uma placa controladora de motores de passo, motores de passo conectados a válvulas controladoras de pressão e um microcomputador. O CLP é conectado aos diversos tipos de equipamentos utilizados para a aquisição de dados (transdutores de pressão e deslocamento e células de carga), ao microcomputador e à placa controladora de motores de passo.” (SOUZA, 2006, p.3).

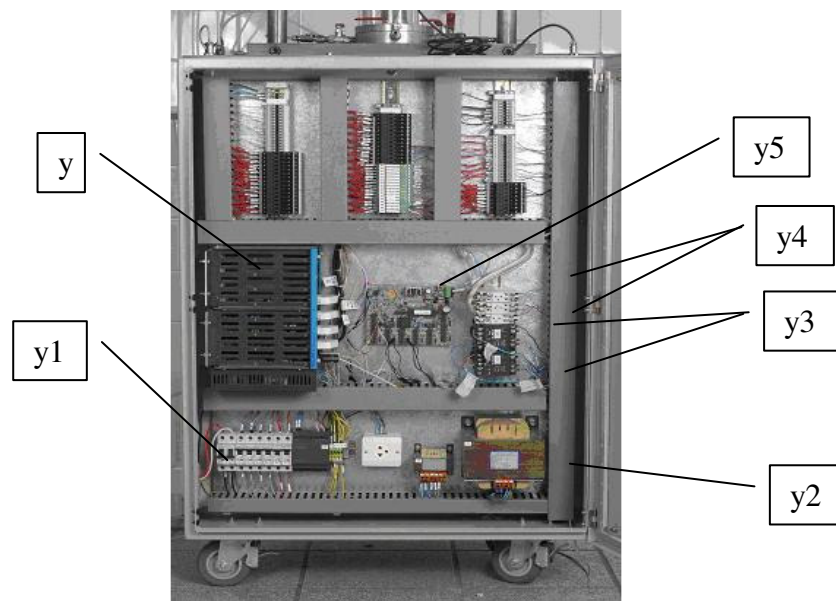


Figura 2 - Painel elétrico da prensa e seus equipamentos constituintes

- y- Controlador lógico programável (CLP);
- y1- Quadro de disjuntores;
- y2- Transformador de energia;
- y3, y4- Conversor de sinal dos transdutores de deslocamento e células de carga;
- y5- Placa controladora dos motores de passo.

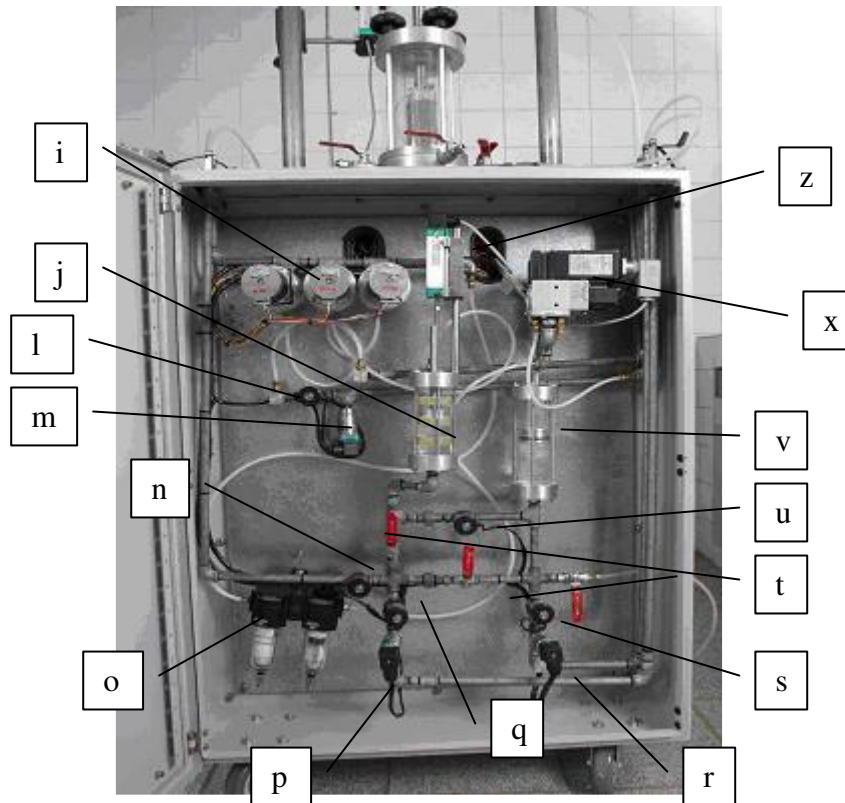


Figura 3 – Painel mecânico da prensa e seus equipamentos constituintes.

- i- Motores de passo destinados ao controle da pressão de topo, neutra e compressão confinada.
- j- Reservatório do variador de volume.
- l,n,q,s,u - Válvulas on/off destinadas ao controle de fluxo de ar ou água.
- m,p,r- Transdutores de pressão destinados a fazerem leituras de pressão neutra(p), topo(m) e confinante(r).
- o- Filtros de proteção.
- t- Válvulas manuais utilizadas para alguma manutenção ou no processo de saturação do sistema.
- v- Reservatório da interface.
- x- Válvula solenóide destinada a aplicação externa através da interface. Ao lado desta válvula, está situada outra válvula solenóide responsável por fornecer a pressão enviada para o pistão.
- z- LVDT destinado a medir o volume de água injetado no corpo de prova sendo que ele mais o reservatório (j) formam o medidor de variação de volume.

O funcionamento da parte mecânica depende da alimentação de ar pressurizado e de água, como ilustra a Figura 4. Para atender o sistema triaxial, existe uma linha de ar comprimido com uma capacidade de 800 kPa, quanto a linha de água, é importante que ela tenha a pressão necessária para movimentar o êmbolo do variador de volume.

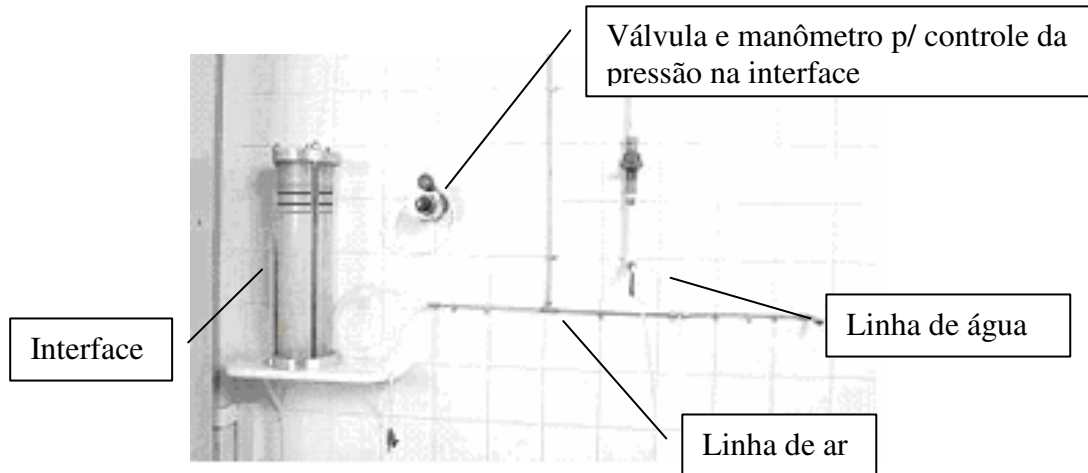


Figura 4 – Fornecimento de água e ar pressurizado.

MELHORAMENTOS DO SISTEMA TRIAXIAL

LINHA DE AR

A linha de ar é responsável pela condução do ar comprimido produzido pelo compressor, que durante o seu funcionamento sistemático, gera também água que se acumula no interior do seu reservatório. Essa água deve ser drenada diariamente, pois caso contrário o ar fica saturado levando assim gotas de água para a parte mecânica da prensa. Em virtude da existência de um vazamento das válvulas solenóides – responsáveis pelo controle da pressão do ar que chega na prensa – o compressor estava sendo solicitado com muita frequência, gerando um grande volume de água no seu reservatório. A solução foi drenar o compressor pelo menos duas vezes por semana, para que não se acumule muita água e não deixar a linha de ar conectada à prensa quando esta não estiver sendo utilizada, evitando assim o vazamento. A limpeza e a manutenção do filtro de ar na saída do compressor e do filtro existente na entrada da prensa foram necessárias para prevenir o acúmulo de água e saturação da linha. A Figura 5 mostra o compressor e o seu dreno.



Figura 5 - Compressor e dreno.

VÁLVULAS DOS MOTORES DE PASSO

Os motores de passo dependem da alimentação de ar e como a linha estava saturada, transportando água e na chegada dos motores, a linha não dispõe de um filtro, a água estava acumulando nos copos de sustentação do motor, (penetrando nas suas válvulas e danificando às mesmas, comprometendo o funcionamento dos motores, como ilustra a Figura 6,

Ao resolver o problema da água na linha de ar, automaticamente o problema nas válvulas dos motores foi sanado, bastou destravar os motores e prestar manutenção nas válvulas, lubrificando suas partes.

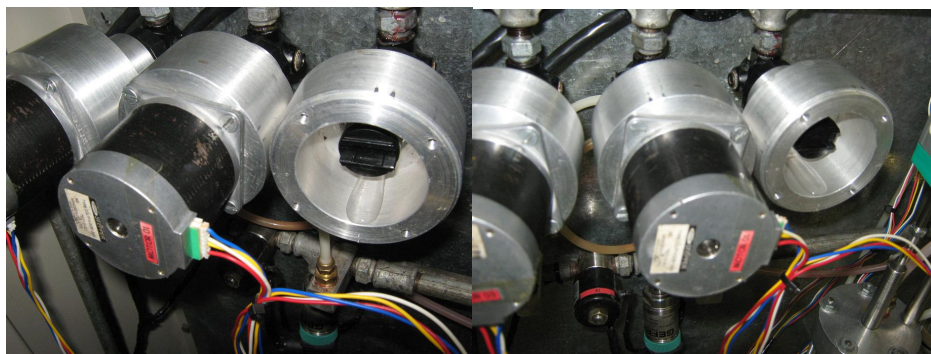


Figura 6 - Água acumulada nos copos de sustentação dos motores de passo.



AFERIÇÃO DO PROGRAMA COMPUTACIONAL

Após diversas verificações nas rotinas do programa e visando melhorar a interação entre a parte mecânica e a parte eletroeletrônica da prensa, ousou-se tentar fazer algumas alterações no mesmo. Com um pouco de conhecimento de linguagem computacional e entendimento do fenômeno da resistência ao cisalhamento dos solos, foi possível realizar melhorias significantes no comportamento do programa. Um dos principais e mais preocupante problema era o carregamento do pistão, que devido à flutuação nas pressões internas da câmara no início da ruptura do corpo de prova, aplicava uma força de elevado valor com o intuito de ajustar a taxa de carregamento solicitada pelo operador. Durante o ajuste da taxa de aplicação da força a ser exercida pelo pistão, o programa trabalha com um intervalo de valores que vão de 0 a 4095, chamado de set-points. Quando se encontra um valor de set-point negativo, o programa então manda uma mensagem de ajuste imediato da carga, gerando um pico de tensão, que carrega de vez o corpo de prova, comprometendo o ensaio e pondo em risco a integridade da prensa. Dentro do programa, na rotina responsável por este cálculo de carregamento, foram feitas algumas alterações que garantiram a não ocorrência de set-points negativos.

O programa que realizava a comunicação entre a prensa e o computador foi trocado de ELIPSE SCADA para HI TECNOLOGIA. Apresentando assim, uma interface melhor, opção de escolha na taxa de aquisição de dados, além do preço de sua licença bastante reduzido e tornando-se mais prático por não precisar da Hard Key para a sua utilização.

MOLDADOR DE CORPOS DE PROVA PARA ENSAIOS TRIAXIAIS

Por questão de praticidade e confecção adequada de corpos de prova para realização dos ensaios foi construído um moldador de corpo de prova (MCP) tendo como base um aparelho existente no Laboratório de Geotecnia da UFBA. A Figura 7 apresenta uma vista geral do equipamento e a Figura 8 ilustra o processo de moldagem e posterior extração do corpo de prova.



Figura 7 - Moldador de corpos de provas.



Figura 8 - Moldagem e extração do corpo de prova.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresenta algumas atividades preliminares realizadas para ajuste de funcionamento do sistema servo-controlado existente no Laboratório de Solos da UCSal. Contudo, problemas no controle das pressões e no variador de volume ainda são questões a serem aprimoradas, para em fim poder atestar o pleno funcionamento do Sistema, realizando os diferentes tipos de ensaios com um solo de comportamento conhecido.

REFERÊNCIAS

- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Ed. Livros técnicos e científicos S.A, Vol 1. Rio de Janeiro, 1981.
- HAEFELI, R. – **Notes Sur la Résistance au Cisaillement des Sols Argileux** – Publicação nº. 17 do Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Lisboa – 1951.
- MACHADO, S. L. & CARVALHO, M. F. **Introdução à Mecânica dos Solos** – Teoria II.
- PINTO, C. S. **Curso básico de Mecânica dos Solos**. Oficina de textos, São Paulo, 2000.
- SOUZA, M. V. R. **Prensa Servo-Controlada para execução de ensaios triaxiais e compressão confinada: Construção do Manual do Usuário**. Salvador-Ba, 2006.