

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RODRIGO TRANI

**ESTUDOS RELACIONADOS À MONTAGEM DE EQUIPAMENTO PARA  
REALIZAÇÃO DE ENSAIOS TRIAXIAIS EM SOLOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2017

RODRIGO TRANI

**ESTUDOS RELACIONADOS À MONTAGEM DE EQUIPAMENTO PARA  
REALIZAÇÃO DE ENSAIOS TRIAXIAIS EM SOLOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, câmpus Campo Mourão, para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. D.Sc. Ewerton Clayton Alves da Fonseca.

CAMPO MOURÃO

2017





Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Construção Civil  
Coordenação de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

**ESTUDOS RELACIONADOS À MONTAGEM DE EQUIPAMENTO PARA REALIZAÇÃO  
DE ENSAIOS TRIAXIAIS EM SOLOS**

por  
**Rodrigo Trani**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 16h30min do dia 03 de julho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof. Dr. Jorge Luís Nunes de Góes**

(UTFPR)

**Prof. Sergio Roberto Oberhauser  
Quintanilha Braga**

(UTFPR)

**Prof. D.Sc. Ewerton Clayton Alves da  
Fonseca**

(UTFPR)  
**Orientador**

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

**Prof. Dr. Ronaldo Rigobello**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.*

Dedico este trabalho a tudo e todos que têm tendências a causarem bem na vida das pessoas.

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus.

Agradeço a todos que porventura, ao longo de toda a trajetória da minha vida, tiveram influência para que eu chegasse até aqui. Desde a pessoa que com um esbarro de ombro mudou os planos do meu dia e esses me levaram a continuar um caminho que direcionava para os dias de hoje, até aqueles que pegaram na minha mão e explicaram o porquê de ser o que era para ser.

Célia, Marcos, Larissa, Rogério, Alan, Vó Quita, José Roberto, Mariza, Gabriela, Celso, Cidão, Lucia, Bariani, Juninho, André, Taís, Deni, Sueli, Julia, Luís Roberto, Luís Felipe, Caroline, Milene, Mara, Curiango, Thiago, Tânia, Gabriel, Juarez, Renata, Saulo, Julio, Otavio, Paula, Gustavo, Taís, Evandro, Vanessa, Tayná, Ezequiel, Atílio, Sônia, César, Gabriel, Iara, Pascoal, Máira, Artur, Rosângela, Luan, Caique, Cauê, Bela, Vanderlei, Ewerton, William, Giovanni, Jorge, Sérgio, Danilo, Dani, Tobias, Tomás, Julia, Cleusa, Fernando, Cornelia, Beno, Camila, Bruce, Frederico e todos os outros professores e professoras dos ensinamentos da vida.

“O que cabe a nós é decidir o que fazer com o tempo que nos é dado”

Adaptação de O Senhor dos Anéis

## Resumo

Trani, R. **ESTUDOS RELACIONADOS À MONTAGEM DE EQUIPAMENTO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS TRIAXIAIS EM SOLOS**, 2017. 86 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

Este trabalho apresenta orientações detalhadas relacionadas as etapas de montagem do equipamento destinado à realização de ensaios de compressão triaxial em corpos de prova de solo, da marca Humboldt, adquirido pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão. A montagem deste equipamento visa verificar a funcionalidade de seus distintos componentes, assim como a adequabilidade das instalações disponíveis no laboratório para a instalação do mesmo futuramente. Uma vez montado e instalado corretamente, o equipamento proporcionará o desenvolvimento de pesquisas científicas na área de Engenharia Geotécnica, de modo a permitir a determinação/estimativa dos parâmetros de resistência dos distintos solos da região, além de possíveis prestações de serviços correlatos. Neste trabalho, são descritas também as características necessárias que o local deve ter para a adequada instalação do equipamento. Adicionalmente, são descritos os componentes auxiliares para a operação do mesmo, assim como uma série de quesitos exigidos com base nos manuais do produto. Testes preliminares foram efetuados a fim de verificar as distintas funcionalidades do equipamento. Os resultados destes testes sugerem que, em breve, o equipamento tem condições de realizar ensaios triaxiais em corpos de prova de solo.

Palavras-chave: Montagem de equipamento; Ensaio triaxiais; Solos.

## **Abstract**

Trani, R. **STUDIES RELATED TO THE ASSEMBLY OF EQUIPMENT FOR REALIZATION OF TRIAXIAL TESTS IN SOILS**, 2017. 86 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica do Paraná, 2017.

This work presents detailed guidelines related to the assembly stages of the equipment destined to the realization of triaxial compression tests in soil of the Humboldt brand, acquired by the Federal Technological University of Paraná, Campo Mourão Campus. The assembly of this equipment aims to verify the functionality of its different components, as well as the suitability of the facilities available in the laboratory for the installation of the same in the future. Once installed, the equipment will provide the development of scientific research in the area of Geotechnical Engineering, in order to allow the determination/estimation of resistance parameters of the different soils of the region, in addition to possible related services rendering. In this work, the necessary characteristics that the place must have for the proper installation of the equipment are also described. In addition, the auxiliary components for the operation are described, as well as a series of requirements based on the product manuals. Preliminary tests were performed in order to verify the different functionalities of the equipment. The results of these tests suggest that the equipment will soon be able to perform triaxial tests on soil.

**Keywords:** Equipment assembly; Triaxial test; Soil.

## Lista de Figuras

Figura 1 – Esquema da câmara do ensaio de compressão triaxial. ....	16
Figura 2 – Envoltória de resistência/ruptura do solo obtida a partir de resultados de ensaios de compressão triaxial. ....	17
Figura 3 – Poropressão, variação de volume e aplicação de contrapressão. ....	18
Figura 4 – Ensaio CD (Adensado drenado).....	19
Figura 5 – Ensaio CU (Adensado não drenado).....	20
Figura 6 – Ensaio UU (Não adensado, não drenado). ....	20
Figura 7 – Célula triaxial montada.....	21
Figura 8 – Exemplo de câmara triaxial e seus mecanismos.....	22
Figura 9 – Equipamento de ensaios de compressão triaxial-Humboldt.....	26
Figura 10 – Configuração de instalação para o ensaio Marshall.....	27
Figura 11 – Configuração de instalação para o ensaio CBR.....	27
Figura 12 – Configuração de instalação para o ensaio de compressão simples.....	27
Figura 13 – Configuração de instalação para o ensaio triaxial UU.....	27
Figura 14 – Configuração para ensaio TSR/Solo Cimento.....	28
Figura 15 – Esquema de múltiplos dispositivos de prensa conectados simultaneamente. ....	28
Figura 16 – HM-4140 <i>Master Controller</i> e suas divisões.....	30
Figura 17 – Painel de controle com divisões das buretas de controle.....	32
Figura 18 – Buretas do painel de controle.....	34
Figura 19 – Equipamento para ensaio de compressão triaxial.....	35
Figura 20 – Compressor de ar, capacidade 200 litros.....	36
Figura 21 – Bomba de vácuo. ....	37
Figura 22 – Peças para instalação do equipamento de ensaio triaxial identificadas enumeradas. ....	37
Figura 23 – Vista das conexões no <i>FlexPanel</i> . ....	39
Figura 24 – Vista das conexões da lateral da parte traseira do <i>FlexPanel</i> .....	39
Figura 25 – Vista da parte traseira do <i>FlexPanel</i> . ....	40
Figura 26 – Pratos de conectores de serviço. ....	41
Figura 27 – Equipamento e suas conexões realizadas. ....	42
Figura 28 – Esquema do painel de controle. ....	44
Figura 29 – Esquema do painel de comando das buretas. ....	45
Figura 30 – Prensa de solos HM-3000.3F.....	55
Figura 31 – Interruptor Liga/Desliga da prensa com detalhe da posição do fusível. .	55
Figura 32 – Esquema da parte frontal do visor da prensa HM-3000. ....	56
Figura 33 – Exemplo da mostra do visor. ....	57
Figura 34 – Exemplo do visor.....	57
Figura 35 – Exemplo do visor da prensa. ....	57
Figura 36 – Exemplo do visor para ajuste de data. ....	57
Figura 37 – Exemplo do visor para alteração de data. ....	58
Figura 38 – Exemplo do visor final para alterar a data. ....	58
Figura 39 – Exemplo do visor para mudança de hora.....	58

Figura 40 – Exemplo do visor para ajuste de velocidade. ....	59
Figura 41 – Exemplo do visor para ajuste de usuário definido. ....	59
Figura 42 – Exemplo do visor da função <i>more set up</i> para usuário definido. ....	59
Figura 43 – Exemplo do visor para <i>engineering set up</i> . ....	59
Figura 44 – Exemplo do visor para <i>login interval</i> . ....	60
Figura 45 – Exemplo do visor para <i>configuration</i> . ....	60
Figura 46 – Exemplo do visor para configuração do canal. ....	60
Figura 47 – Exemplo do visor com canal nomeado LOAD1. ....	61
Figura 48 – Exemplo de visor para valor máximo do sensor. ....	61
Figura 49 – Exemplo de visor para ensaio específico. ....	62
Figura 50 – Exemplo de visor para segundo passo para ensaio específico. ....	62
Figura 51 – Exemplo de visor da prensa para ensaio específico. ....	63
Figura 52 – Exemplo de visor após liberação com o código. ....	63
Figura 53 – Exemplo de visor final para ensaio específico. ....	63
Figura 54 – Exemplo do visor para calibração de canal. ....	64
Figura 55 – Exemplo do visor para segundo passo para calibração de canal. ....	64
Figura 56 – Exemplo do visor com a opção <i>engineering set up</i> aberta. ....	64
Figura 57 – Exemplo do visor para a função <i>calibration</i> . ....	64
Figura 58 – Exemplo de visor para canal 1. ....	65
Figura 59 – Exemplo do visor para configurar a identidade do dispositivo. ....	67
Figura 60 – Exemplo do visor para segundo passo da identidade do dispositivo. ....	67
Figura 61 – Exemplo do visor para função <i>more set up</i> aberta. ....	67
Figura 62 – Exemplo do visor com a função <i>change device</i> aberta. ....	67
Figura 63 – Exemplo do visor para ensaio CBR. ....	68
Figura 64 – Exemplo de tela para <i>run test</i> para ensaio CBR. ....	68
Figura 65 – Exemplo de tela para a opção CBR/LBR aberta. ....	69
Figura 66 – Exemplo de visor para CBR. ....	69
Figura 67 – Exemplo do visor para ensaio de CBR em execução. ....	69
Figura 68 – Exemplo de visor para impressão de resultados CBR. ....	70
Figura 69 – Exemplo de visor para consulta de ensaio CBR realizados. ....	70
Figura 70 – Exemplo de visor para ensaio Marshall. ....	71
Figura 71 – Exemplo de visor para opção <i>run test</i> para ensaio Marshall. ....	71
Figura 72 – Exemplo de visor para ensaio Marshall em andamento. ....	71
Figura 73 – Exemplo de visor para ensaio Marshall com resultado de pico. ....	71
Figura 74 – Exemplo de visor para ensaio Marshall para impressão de resultados. ....	72
Figura 75 – Exemplo de visor para ensaio de compressão não-confinada. ....	73
Figura 76 – Exemplo de visor para ensaio de compressão não-confinada passo 2. ....	73
Figura 77 – Exemplo de visor para ensaio de compressão não-confinada, <i>user defined test</i> . ....	73
Figura 78 – Exemplo de visor para ensaio de compressão não-confinada, ensaio em andamento. ....	73
Figura 79 – Exemplo de visor para ensaio de compressão não-confinada com mostra de carregamento. ....	74
Figura 80 – Exemplo de visor para ensaio de compressão não-confinada com apresentação de resultados. ....	74

Figura 81 – Exemplo de visor para ensaio de compressão não-confinada para impressão.....	75
Figura 82 – Exemplo de imagens do <i>software</i> . .....	76
Figura 83 – Distribuição dos equipamentos para realização dos testes.....	77
Figura 84 – Distribuição das tubulações e conexões. ....	78
Figura 85 – Distribuição das conexões de tubulação e do computador. ....	79
Figura 86 – Conexões do painel de controle hidráulico/pneumático. ....	79
Figura 87 – Conexões do verso do painel de controle. ....	80

## **Tabelas**

Tabela 1 – Lista para configuração de instrumentos Humboldt.....	62
Tabela 2 – Instrumentos de calibração Humboldt. ....	66

## Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	OBJETIVO GERAL.....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3	JUSTIFICATIVAS.....	14
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
4.1	ENSAIOS PARA ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DOS SOLOS.....	15
4.2	EQUIPAMENTO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE COMPRESSÃO TRIAXIAL.....	20
4.2.1	A CÉLULA TRIAXIAL.....	20
4.2.2	O RESERVATÓRIO DE AR.....	23
4.2.3	O CONTROLE DE MERCÚRIO.....	23
4.2.4	O SISTEMA DE CARREGAMENTO.....	<u>2423</u>
4.2.5	OBSERVAÇÃO PESSOAL.....	<u>2423</u>
5	METODOLOGIA.....	<u>Erro! Indicador não definido.25</u>
5.1	MATERIAIS.....	<u>3534</u>
5.2	MÉTODOS.....	38
5.2.1	INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO.....	40
5.2.2	OPERAÇÃO DO PAINEL DE CONTROLE.....	<u>4344</u>
5.2.3	PRENSA DO EQUIPAMENTO.....	54
6	CONCLUSÕES.....	<u>8281</u>
7	REFERÊNCIAS.....	<u>8584</u>

## 1 INTRODUÇÃO

A área de Geotecnia é um ramo da Engenharia Civil que busca apresentar soluções às construções que necessitam conhecimento aprofundado e específico na ciência dos solos e das rochas (Junior, 2015).

Diante das sucessões de desastres provocados por análise inadequada ou até mesmo ausência de análise geotécnica, que se pode citar os escorregamentos de terra ocorridos na região serrana do Rio de Janeiro em 2012 (G1, 2012) e a ruptura da barragem de rejeitos em Minas Gerais (G1, 2015) e até mesmo a inaplicabilidade de determinadas obras pelo desconhecimento do comportamento do maciço onde estas devem ser executadas, como é o caso de muitas rodovias do Brasil (Maciel, 2016), as exigências para elaboração de projetos tendem a se tornarem mais rígidas e objetivam maior inclusão das tecnologias disponíveis, como já ocorre ao longo dos anos com as normas para sanar a necessidade de precisão nos resultados dos cálculos e análises dos solos e rochas, a exemplo da norma DNER-ME 131/94, ainda em vigência porém hoje sob competência do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte), que especifica como determinar o módulo de resiliência de uma amostra de solo com a utilização do equipamento de ensaio triaxial dinâmico.

Com o intuito de acompanhar o progresso das exigências técnicas da área geotécnica, é necessária a constante ampliação do conhecimento e do uso produtivo das tecnologias que são direcionadas aos estudos de solos e rochas. Assim, a utilização de tecnologias disponíveis, como o caso de equipamentos destinados a realização de ensaios triaxiais em corpos de prova de solos, têm grande relevância para a estimativa de parâmetros de resistência de solos, de modo a proporcionar possibilidades de melhorias no dimensionamento de obras geotécnicas.

O ensaio de compressão triaxial torna possível analisar o comportamento de solos quando estes são sujeitos a distintos carregamentos e diferentes condições de drenagem. Estas condições são representativas do tipo de ruptura que o solo pode sofrer em campo (Georgetti, 2010). Segundo Henkel & Bishop (1967), as principais

vantagens da análise dos solos mediante uso de equipamento triaxial são: controle das condições de drenagem e a possibilidade de medir a poropressão.

Um equipamento como este permite explorar todo um contexto de avanço tecnológico, e deixá-lo em funcionamento, proporcionará condições para realização de pesquisas futuras na área de Mecânica dos Solos, relacionadas, por exemplo, com o estudo das características de resistência dos solos da região de Campo Mourão, PR, o qual é, ainda, pouco avaliado; além de possibilitar à UTFPR-CM tomar proveito do investimento feito com a aquisição do equipamento, que tem utilidade não somente para pesquisas, mas também para possíveis prestações de serviços às empresas interessadas na realização de estudos de solos.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Montar, adequadamente, o equipamento destinado à realização de ensaios de compressão triaxial em corpos de provas de solos, o qual se encontra no Laboratório de Mecânica dos Solos da UTFPR-CM e deixá-lo apto para execução de ensaios.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar aspectos relacionados à infraestrutura disponível para a montagem do equipamento no local onde o mesmo se encontra atualmente;
- Identificar e estudar o funcionamento dos componentes (peças e acessórios) do equipamento;
- Estudar os procedimentos de montagem do equipamento, a partir dos manuais do produto;
- Realizar a montagem do equipamento a fim de efetuar testes preliminares;
- Avaliar o funcionamento dos distintos componentes do equipamento por meio de testes, a fim de deixá-lo apto para realização de ensaios;
- Elaborar um manual prévio para uso do equipamento.

### 3 JUSTIFICATIVAS

No âmbito da UTFPR, câmpus Campo Mourão, como aluno desta instituição desde 2012, foi possível perceber o trabalho de alguns professores quanto a transmitir aos alunos conhecimentos de Engenharia Civil combinados com o setor da tecnologia, a exemplo do laboratório destinado a pesquisas com estruturas de madeiras e algumas outras especificidades, que comporta uma série de equipamentos e maquinário que tem sido de grande valia para o desenvolvimento de trabalhos e projetos na área. Prova do progresso nos estudos dos acadêmicos a partir da utilização dos equipamentos presentes nesse laboratório, são os recorrentes trabalhos de conclusão de curso realizados no câmpus que somente são possíveis com aparelhagem adequada e com um desenvolvimento constante do trabalho de vários alunos e professores ao longo dos anos, como mostra o Portal de Informações em Acesso Aberto da UTFPR.

Dentro deste cenário da tecnologia aliada a aprendizagem, objetiva-se expandir os demais setores da universidade. Como parte desta expansão, este trabalho visa aprimorar o Laboratório de Mecânica dos Solos, de modo a montar um equipamento destinado a realização de ensaios de compressão triaxial em corpos de prova de solos.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo montar o equipamento destinado à realização de ensaios de compressão triaxial em corpos de prova de solos, de modo que o mesmo possa ser utilizado para o desenvolvimento de pesquisas científicas relacionadas a área de Geotecnia, especificamente no ramo da Mecânica dos Solos, assim como para a prestação de serviços especializados a interessados, sejam empresas do ramo de engenharia geotécnica ou outras universidades da região. Assim, acredita-se que os potenciais do Laboratório de Mecânica dos Solos serão acrescidos no que se refere ao desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

Este tópico aborda, de forma breve, a base teórica considerada importante para o entendimento dos ensaios de compressão triaxial em corpos de provas de solos.

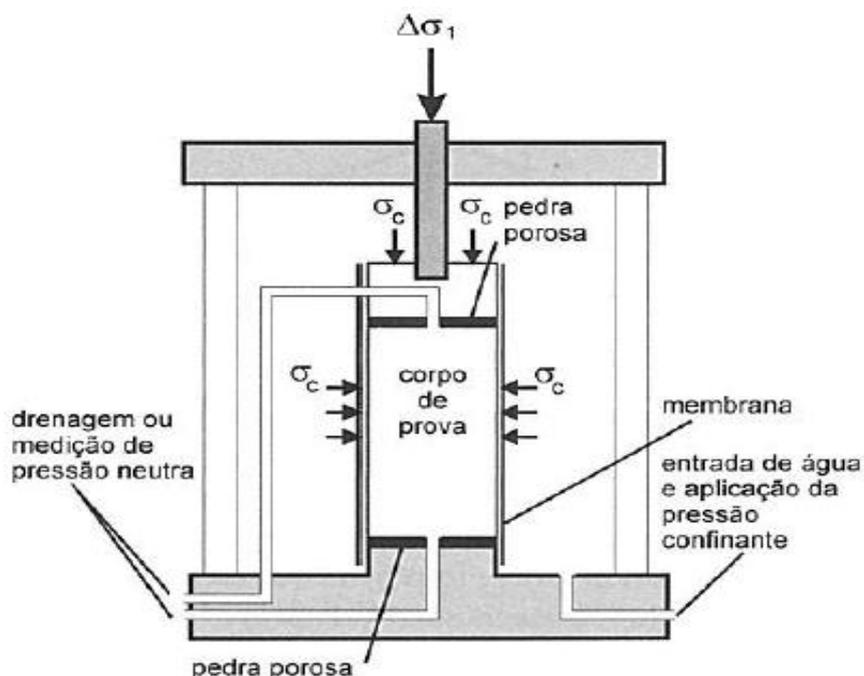
### 4.1 ENSAIOS PARA ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DOS SOLOS

A ruptura dos solos deve-se de forma preponderante ao cisalhamento, salvo situações especiais nas quais a ruptura se deve a tensões de tração aplicadas aos solos. A resistência ao cisalhamento dos solos caracteriza-se pela máxima tensão cisalhante, a qual o solo é capaz de suportar antes de romper (Pinto, 2006, p.260).

A determinação da resistência ao cisalhamento dos solos pode ser feita no laboratório por meio de diversos ensaios, entre os quais se destacam o cisalhamento direto e a compressão triaxial. A principal diferença entre estes ensaios é que não há controle de drenagem no ensaio de cisalhamento direto, o que limita as análises em termos de tensões totais. Apenas se tem uma aproximação do estado de cisalhamento puro no corpo de prova e a tensão de cisalhamento no plano de ruptura não é uniforme, o que leva a ruptura progressiva a partir das bordas em direção ao centro do corpo de prova. (Craig, 2012, p. 77). O esquema simplificado do equipamento de compressão triaxial é mostrado na Figura 1.

O ensaio de compressão triaxial consiste na aplicação de um estado hidrostático de tensões e de um carregamento axial sobre um corpo de prova cilíndrico de solo (Pinto, 2006, p. 266).

O equipamento consiste basicamente de uma câmara cilíndrica transparente e resistente, assentada sobre uma base de alumínio, no interior da qual é colocado um corpo de prova cilíndrico revestido por uma membrana de borracha impermeável sob um pedestal, através do qual há uma ligação com a base da célula. Entre o pedestal e amostra utiliza-se uma pedra porosa para facilitar a drenagem. A câmara é preenchida com água, cuja finalidade é transmitir pressão à amostra (Soares *et al.*, 2006, p. 176).

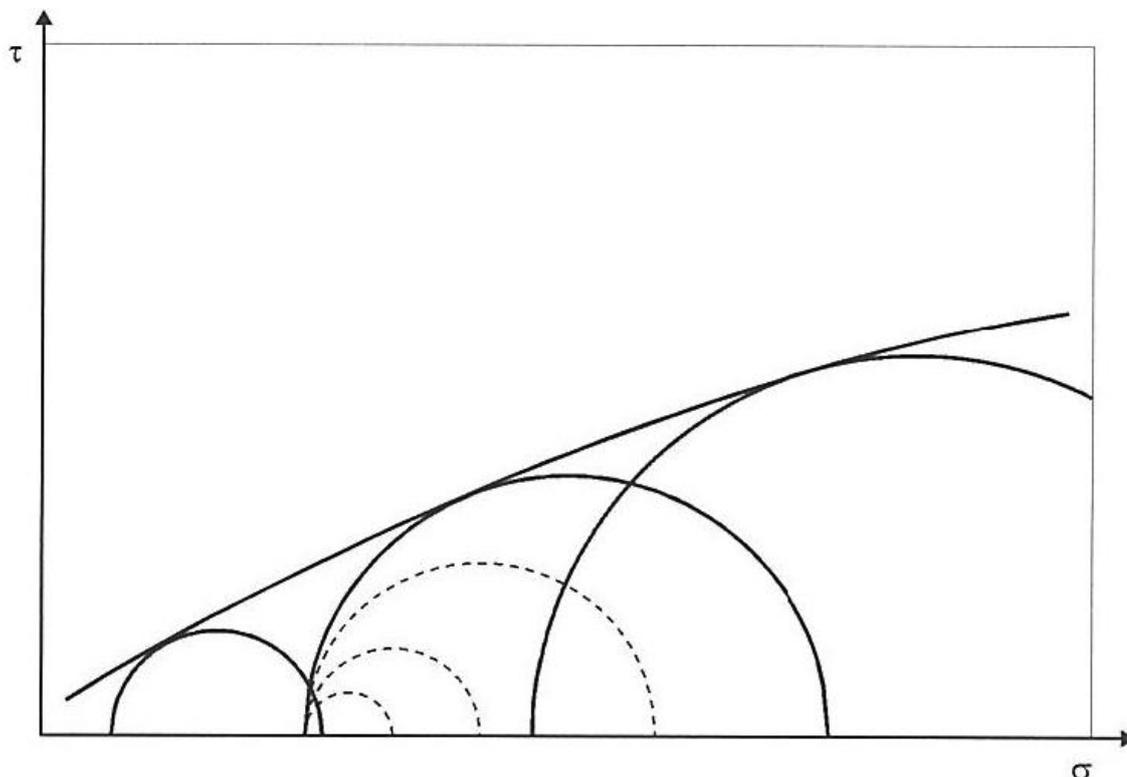


**Figura 1 – Esquema da câmara do ensaio de compressão triaxial.**  
**Fonte: Pinto, 2016**

O carregamento axial é imposto mediante a aplicação de força no pistão, a qual pode ser medida por meio de um anel dinamométrico externo ou uma célula de carga. Desta forma, pode-se determinar a tensão efetiva aplicada no corpo de prova, já que o efeito do atrito do pistão na passagem para a câmara é eliminado. A tensão devida ao carregamento axial é denominada acréscimo de tensão axial ou tensão desviadora (Marangon *apud* Pinto, 2000)<sup>1</sup>.

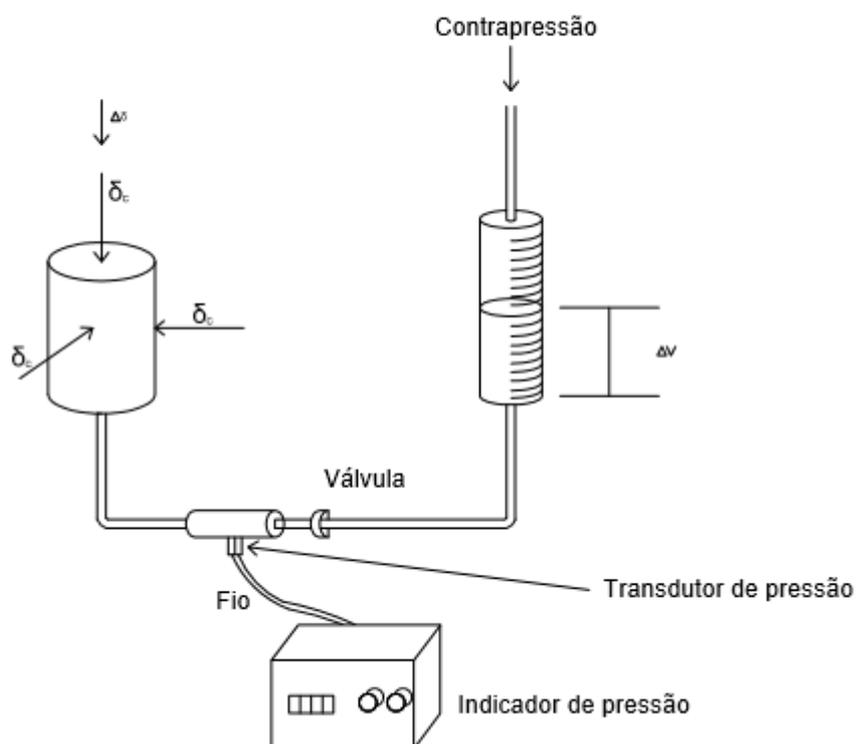
Durante o carregamento, em diversos intervalos de tempo, são realizadas medições de acréscimo de tensão axial atuante e deslocamento vertical do corpo de prova. A divisão dos valores obtidos para o deslocamento vertical e altura inicial do corpo de prova, resulta na deformação vertical específica, em função da qual se expressam as tensões desviadoras e as variações de volume ou poropressões, que possibilita o traçado dos círculos de Mohr. Círculos de Mohr de ensaios realizados em outros corpos de prova permitem a determinação da envoltória de resistência/ruptura do solo, como mostrado na Figura 2.

<sup>1</sup> PINTO, C. de S. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2000.



**Figura 2 – Envoltória de resistência/ruptura do solo obtida a partir de resultados de ensaios de compressão triaxial.**  
Fonte: Pinto, 2006, p 267.

Pedras porosas posicionadas no topo e na base do corpo de prova facilitam a drenagem, a qual pode ser manipulada por meio de válvulas. Assim, se a drenagem for permitida, em um ensaio com o corpo de prova com elevado grau de saturação, a variação de volume do solo pode ser medida com uso de buretas acopladas à saída e entrada de água no corpo de prova. Se a drenagem não for permitida, a água ficará sob pressão. Neste caso, é possível medir a poropressão, mediante transdutores de pressão conectados aos tubos de drenagem (Pinto, 2006, p. 267-268), como esquematizados na Figura 3.



**Figura 3 – Poropressão, variação de volume e aplicação de contrapressão.**  
**Fonte: Adaptação de Soares *et al.*, 2006, p. 178 *apud* Ortigão, 1993.**

Basicamente, três tipos de ensaios, denominados convencionais, podem ser realizados com o equipamento destinado a ensaios de compressão triaxial. Segundo Soares *et al.*, (2006, p. 178), estes ensaios distinguem-se segundo a condição de drenagem de água dos poros dos corpos de provas durante os mesmos. A seguir, esses ensaios são comentados de forma breve.

#### Ensaio adensado drenado (CD)

Trata-se do ensaio realizado com permanente drenagem de água do corpo de prova. Aplica-se a tensão confinante ( $\sigma_3$ ) e aguarda-se que o processo de adensamento primário do corpo de prova ocorra. Em seguida, aplica-se, lentamente, a tensão axial ( $\sigma_1$ ), de modo a permitir que a água, sob pressão, possa drenar. Desta forma, a poropressão é praticamente nula durante todo o ensaio e as tensões totais medidas são iguais às tensões efetivas.

#### Ensaio adensado não drenado (CU)

Com a drenagem de água permitida, aplica-se a tensão de confinamento

( $\sigma_3$ ) até que toda poropressão gerada pela aplicação da tensão confinante seja dissipada. Em seguida, as válvulas que permitem a drenagem de água do corpo de prova são fechadas e aplica-se a tensão axial ( $\sigma_1$ ) até que o corpo de prova sofra ruptura. Neste ensaio, é possível medir a poropressão gerada (o teor de umidade permanece constante na fase de cisalhamento).

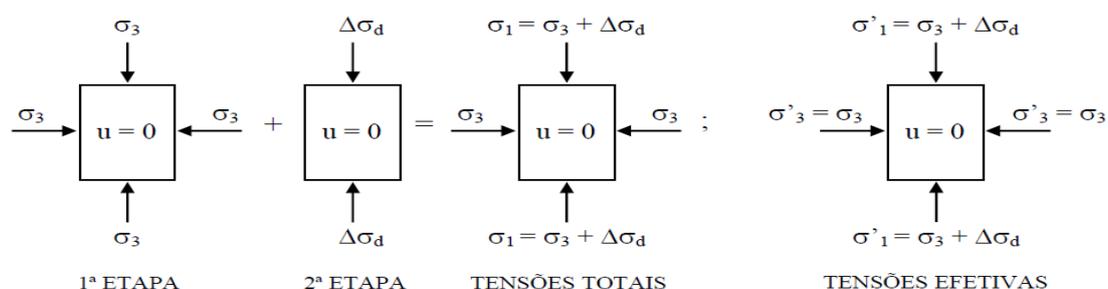
Obtêm-se as medidas de tensões totais e, a partir das medidas de poropressão, obtêm-se as tensões efetivas.

#### Ensaio não adensado, não drenado (*UU*)

Neste tipo de ensaio, aplica-se a tensão axial ( $\sigma_1$ ) até ocorrer a ruptura do corpo de prova, sem permitir a drenagem de água do mesmo. O teor de umidade do solo permanece constante e as poropressões geradas pelos acréscimos de tensão podem ser medidas.

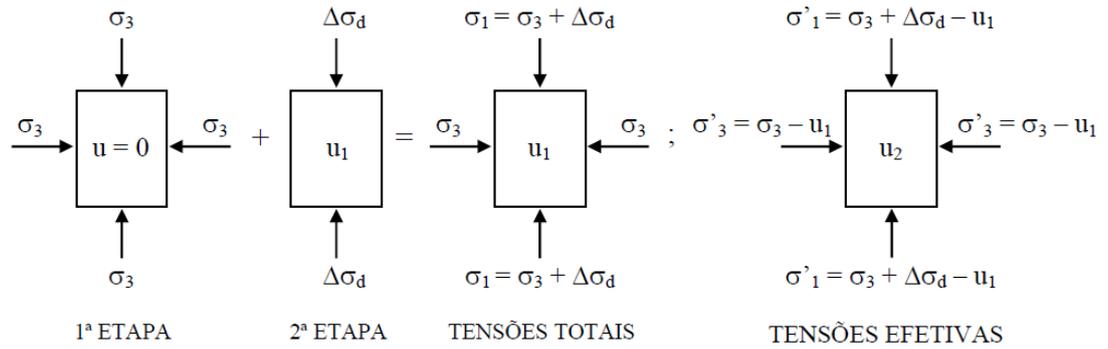
Cada ensaio é específico ao tipo de solo a ser avaliado e à situação que se deseja simular as condições *in situ*. Por exemplo, o ensaio denominado *CD* é indicado para solos arenosos, já que estes materiais possuem alto coeficiente de permeabilidade, quando comparados com os solos argilosos. Já os ensaios realizados sob condição não drenada podem ser remetidos às situações de terremotos, por exemplo, uma vez que os excessos de poropressão gerados devido ao sismo (carregamento dinâmico aplicado muito rapidamente) não permite a drenagem de água dos poros do solo.

A seguir, os esquemas de carregamentos dos ensaios *CD*, *CU* e *UU*, esquematizados nas Figuras 4, 5 e 6, respectivamente:

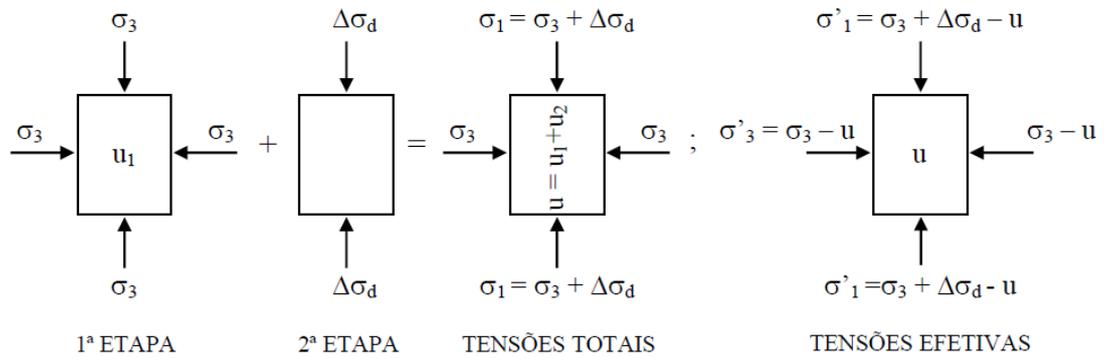


**Figura 4 – Ensaio CD (Adensado drenado).**

Fonte: Soares *et al.*, 2006 p 180.



**Figura 5 – Ensaio CU (Adensado não drenado).**  
 Fonte: Soares *et al.*, 2006 p 180.



**Figura 6 – Ensaio UU (Não adensado, não drenado).**  
 Fonte: Soares *et al.*, 2006 p 180.

## 4.2 EQUIPAMENTO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE COMPRESSÃO TRIAXIAL

Bishop e Henkel (1957) referem-se à aparelhagem do equipamento de ensaio triaxial. A seguir a teoria embasada dos primeiros modelos desse equipamento.

### 4.2.1 A CÉLULA TRIAXIAL

A célula triaxial é composta por três componentes principais: a base, que forma o pedestal no qual a amostra será posicionada e incorporada a várias conexões de pressão; o cilindro removível com a tampa superior, que enclausura a amostra e permite que a pressão do fluido seja aplicada, e o carregamento que aplica a tensão desviadora à amostra.

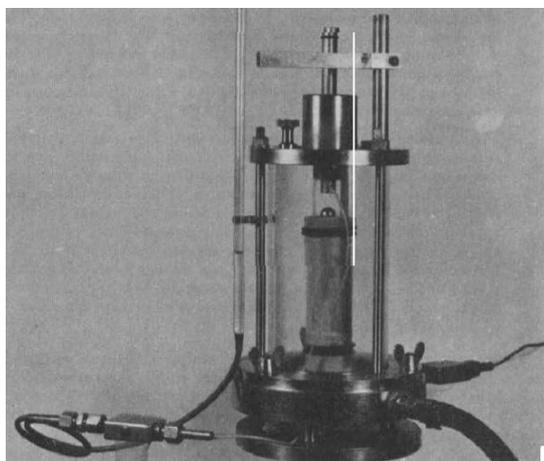
Com relação à amostra, as principais características a serem citadas são de que as dimensões podem variar de acordo com a necessidade do ensaio, por exemplo, para amostras livres da presença de pedras indica-se o diâmetro de 1,5 polegadas, já para amostras indeformadas, o diâmetro pode variar em torno de 4 polegadas, além disso, para posicioná-la na célula é necessário envolvê-la em uma membrana de borracha.

Para a base são necessárias três conexões de pressão: uma para encher a célula com o fluido, usualmente água, para aplicar a pressão ao redor da amostra, e que também serve para esvaziá-la; uma para conexão com a base da amostra, que provê o controle da drenagem nos ensaios e a medida da poro pressão; e uma outra conectada ao topo da amostra, destinada a percolação de água através dos poros da mesma.

O cilindro removível transparente facilita a montagem do ensaio e permite a verificação dos modos de ruptura, que segundo os autores estão relacionados a dificuldade de reproduzir a rotação dos planos de tensões principais ao longo tempo de duração dos ensaios. O cilindro é vedado com o-rings, que são vedações em formato circulares.

Quanto ao carregamento, a maior preocupação é quanto a combinar o mínimo atrito com o maior alcance possível de carregamento axial e atingir um valor elevado de tensão, a julgar os métodos de carregamentos rústicos utilizados na época.

O resultado da combinação dessas peças é mostrado na Figura 7:

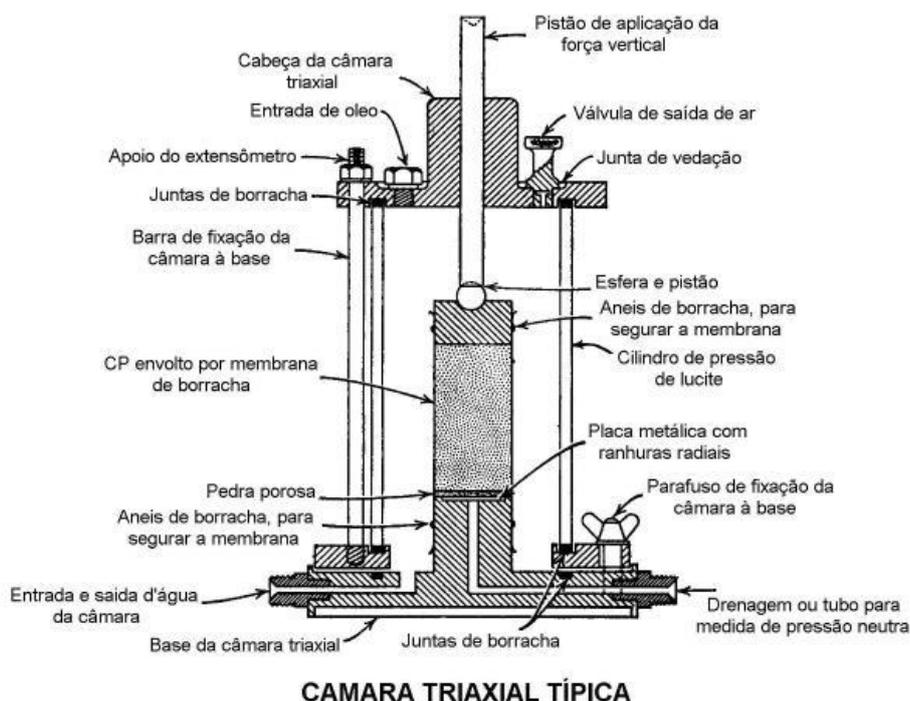


**Figura 7 – Célula triaxial montada.**  
**Fonte: Bishop e Henkel, 1957, p36.**

A transmissão do carregamento para a amostra pode ser feita de várias maneiras. Para ensaios não drenados, pode-se usar um disco plano de Perspex (vidro de mesmo material da câmara) com assentamento centralizado em forma de cone para acomodar na superfície do vidro uma esfera metálica de  $\frac{1}{2}$  polegada de diâmetro, a qual está acoplada na ponta cônica de uma haste. Para ensaios drenados ou adensados não drenados o volume varia no estágio inicial do adensamento que está sob pressão radial, e isso pode levar a uma falta de alocação na amostra que não está comprimida uniformemente. Assim, para evitar esse problema, a projeção tubular sobre a tampa de topo da amostra deixa livre o deslizamento da haste e serve de guia durante o adensamento. Antes que a célula esteja montada, o colar da haste é ajustado para que a ponta dela seja projetada na guia, o alinhamento é então mantido enquanto a amostra diminui de comprimento sob a ação da pressão. Para aplicar o carregamento axial, a ponta da haste é levada até o contato com a bola de metal.

A força de atrito da guia é próxima de zero, porém deve-se assegurar que a leitura da ponta da haste esteja zerada antes do contato.

Para as informações descritas, é válida a análise da Figura 8.



**Figura 8 – Exemplo de câmara triaxial e seus mecanismos.**  
**Fonte: Mascarenha, 2007.**

Um método conveniente de medir a deformação axial enquanto ocorre o adensamento da amostra é com o telescópio vernier em foco no topo da bola de metal e com ranhuras na guia para tornar a esfera visível. Quando a drenagem do topo da amostra é requerida, um tubo de PVC de 1 mm de diâmetro é ajustado para um carregamento de topo de tampa especial, o qual tem um ajuste para acomodar a esfera metálica. Este tubo passa pela base da célula.

A respeito da membrana de borracha, é anexada a amostra e deve aplicar o mínimo de interferência a consistência da amostra e promover uma barreira a vazamentos. A espessura é geralmente de até 0,01 polegadas. Ela é utilizada presa à tampa do topo do carregamento e à base do pedestal através de o-rings. Em ensaios de longa duração, a permeabilidade dela se torna importante, apesar de ter pouca influência na medida correta da tensão efetiva, mas prejudica a leitura da variação de volume e das características de poropressão. A permeabilidade da membrana ao ar é muitas vezes maior que a água, por essa razão água que contém ar dissolvido não deve ser utilizada na célula para ensaios com mais de meia hora de duração.

#### 4.2.2 O RESERVATÓRIO DE AR

O método mais simples é ter um reservatório de ar que suporte as variações de volume da amostra e os vazamentos da célula. A pressão do ar proveniente do compressor age na superfície da água da célula.

#### 4.2.3 O CONTROLE DE MERCÚRIO

Os fluidos utilizados para fazer o controle da pressão e do volume dos ensaios eram de água e mercúrio. A leitura da pressão aplicada na célula triaxial resulta da diferença de níveis entre as superfícies de mercúrio em dois cilindros. As variações de volume e pressão podem ser controladas com o auxílio desse princípio hidráulico.

#### 4.2.4 O SISTEMA DE CARREGAMENTO

Dois tipos de carregamento podem ser realizados, por controle de força ou por controle de deslocamento. A primeira citada é a mais comumente aceita para ensaios de pesquisa, pois o modo de ruptura é conhecido com precisão e a influência dos fatores reológicos pode ser levada em conta. A curva tensão-deformação permite observar o ponto máximo de tensão, e a duração do teste também pode ser precisada, o que é importante para o planejamento do ensaio.

#### 4.2.5 OBSERVAÇÃO PESSOAL

Há variações entre as informações apresentadas do maquinário de 1957 e do maquinário utilizado atualmente. Essa análise foi feita com base em uma leitura prévia do manual do equipamento destinado a ensaio triaxiais da marca Humboldt, a respeito de execução de alguns ensaios triaxiais. Pode-se citar a utilização de apenas água para execução dos ensaios em comparação ao uso de mercúrio; a sofisticação dos equipamentos de leitura; a sofisticação dos equipamentos de aplicação de carga, hoje utilizadas as células de carga. Todas essas variações poderão ser notadas no equipamento que será apresentado neste trabalho.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia apresentada a seguir mostra as recomendações de como proceder a instalação de um equipamento de realização de ensaios de compressão triaxial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão, modelo Humboldt, HM- 3000, uma marca estadunidense.

É composto basicamente por uma prensa, onde é posicionada uma célula triaxial, um painel de controle hidráulico/pneumático e um reservatório de água deaerada (água sem bolhas de ar), que nada mais é que uma câmara de vidro para armazenamento desse tipo de água, mais os aparelhos sobressalentes necessários ao funcionamento do equipamento, como o compressor de ar, um secador de ar e uma a bomba de vácuo.

A prensa possui controle e leitura digital/informatizado, enquanto o painel controla de fluxo de água e pressão, acionados pelo operador manualmente. A célula triaxial é o composto de uma câmara de vidro para abastecimento de água e posicionamento de um corpo de prova de solo com uma base que interliga as conexões das tubulações e controla o fluxo de água.

Na Figura 9, está apresentado o equipamento da maneira que se encontrava disposto no Laboratório de Solos. Verifica-se a prensa, a célula triaxial, o tanque de água deaerada e o painel de controle hidráulico/pneumático.

Para realização de ensaios de compressão triaxial com o equipamento Humboldt, duas partes são essenciais: a prensa e o painel de controle *Flexpanel* hidráulico/pneumático. Essas duas partes têm maior foco neste trabalho, devido às características de operação e que todo o equipamento auxiliar, cabos e tubulações são conectados a elas.



**Figura 9 – Equipamento de ensaios de compressão triaxial-Humboldt.**  
Fonte: Autoria própria.

Os componentes que acompanham a prensa do modelo HM-3000 variam de acordo com o especificado pelo pedido, ou seja, de acordo com os tipos de ensaios que se pretende realizar. O conjunto adquirido peça UTFPR-CM permite a realização dos ensaios de CBR, Marshall e os ensaios de compressão triaxial dos tipos CD, CU e UU.

A prensa é equipada com um suprimento de alternância de energia interno e digital compatível com a maioria das configurações de energia utilizadas no mundo. É suprida de um cabo elétrico tipo IEC com um plugue comum para 110 V.

As características elétricas relevantes são as de que o equipamento sai de fábrica pronto para uso, necessita de uma fonte de alimentação elétrica de 110 V e que, a depender do país que o adquire, são necessárias adaptações no *plug in*, considerando-se que o padrão das instalações é do país de origem, os Estados Unidos.

O HM-3000 tem quatro entradas de instrumentação, localizadas na parte traseira da prensa para ligar a célula de carga e os transdutores de pressão e de

deslocamento linear, de modo a permitir alternância entre as unidades de maneira simples, de acordo com o tipo de ensaio requerido.

As instalações da célula de carga e do transdutor de deslocamento linear devem ser feitas segundo as imagens das Figuras 10 a 14.



Figura 10 – Configuração de instalação para o ensaio Marshall.  
Fonte: Manual HM-3000-Humboldt.

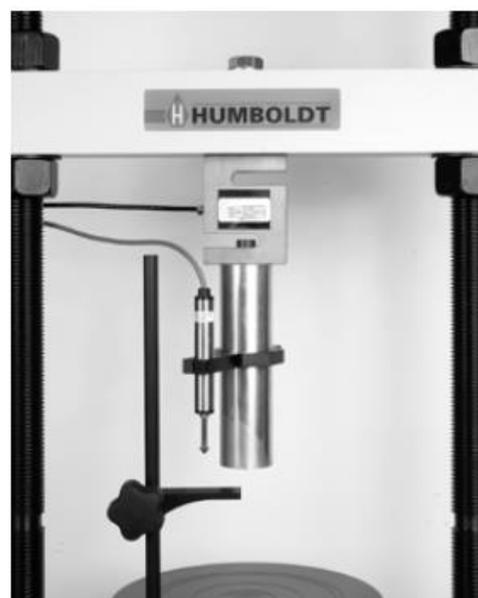


Figura 11 – Configuração de instalação para o ensaio CBR.  
Fonte: Manual HM-3000-Humboldt.



Figura 12 – Configuração de instalação para o ensaio de compressão simples.  
Fonte: Manual HM-3000-Humboldt.

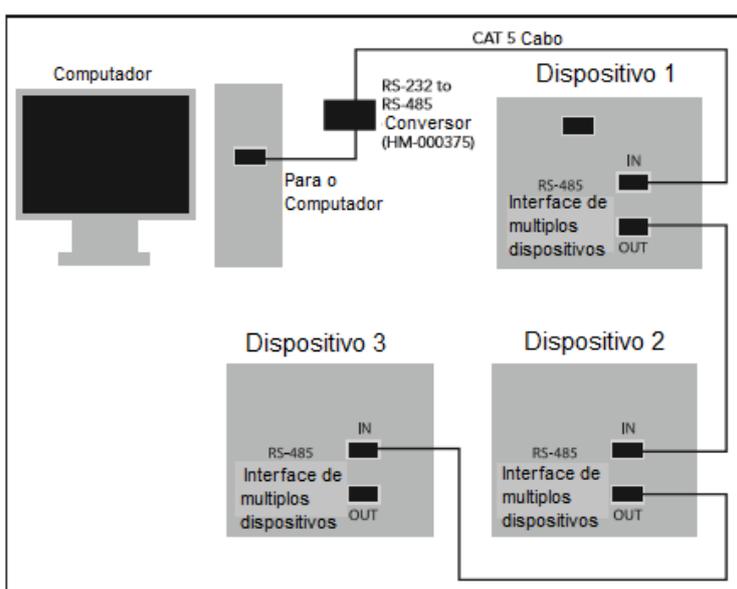


Figura 13 – Configuração de instalação para o ensaio triaxial UU.  
Fonte: Manual HM-3000-Humboldt.



**Figura 14 – Configuração para ensaio TSR/Solo Cimento.**  
 Fonte: Manual HM-3000-Humboldt.

Para aquisição dos dados obtidos durante a realização dos ensaios é necessário um computador com os seguintes requisitos mínimos: processador de 800 MHz; memória de 500 Mb e 40 GB de capacidade de armazenamento. Além disto, é possível usar adequadamente um *software*, o qual foi disponibilizado juntamente com o equipamento. O uso do *software* possibilita a conexão múltipla de dispositivos, como esquematizado na Figura 15. Também é possível obter a impressão direta dos resultados mediante conexão via cabo, por entrada direta nas portas analógicas na parte de trás da prensa.



**Figura 15 – Esquema de múltiplos dispositivos de prensa conectados simultaneamente.**  
 Fonte: Manual HM- 3000- Humboldt.

Outro componente do equipamento de ensaio triaxial é o painel de controle hidráulico/pneumático, modelo *FlexPanel* HM-4150 da marca Humboldt.

Para o painel de controle, antes de se iniciar os ensaios deve-se atentar para alguns avisos e precauções:

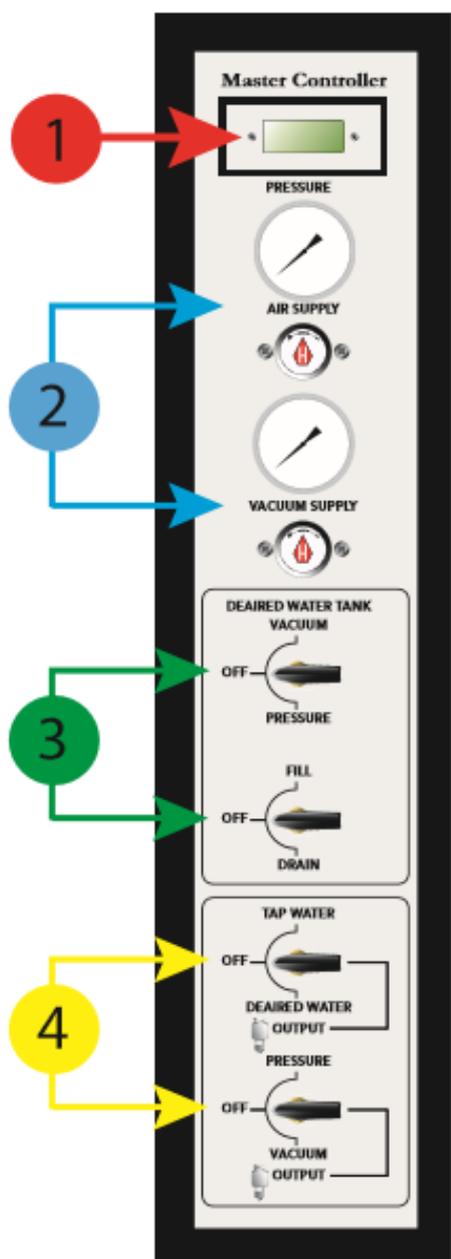
Primeiro, o equipamento é preparado para operar ao máximo de 150 psi (libra força por polegada quadrada, lbf/in<sup>2</sup>) (1000 kPa) de pressão de ar. Também, vazamentos nas tubulações de água irão influenciar os resultados. Vazamentos nas conexões rápidas ocorrerão se o anel de vedação *o-ring* estiver danificado, o que pode acontecer devido à má lubrificação.

A proposta do painel de controle é monitorar o fluxo de água de vários aparelhos de ensaio, e controlar a pressão. Esse dispositivo pode ser utilizado em conjunto com outros equipamentos conforme especificado pelas normas internacionais da ASTM – *American Society for Testing and Materials*, D4767, D2850, D5084, entre outras.

O equipamento pode ser usado para “saturar” um corpo de prova de solo por meio de contrapressão; adensa-lo ou expandi-lo; controlar as pressões e monitorar a variação de volume do corpo de prova durante a etapa de cisalhamento; monitorar o fluxo de água que entra e sai do corpo de prova e controlar as pressões para o ensaio de permeabilidade.

Os *FlexPanels* da Humboldt são disponibilizados em cinco diferentes configurações de painel, as quais podem se agrupar para acomodar até cinco células. A especificação do modelo HM-4150M.3F inclui um grupo de buretas de controle e um controlador mestre integrado, o HM-4140 *Master Controller*.

Para simplificar o entendimento do funcionamento do controlador mestre, as seções podem ser divididas em quatro seções, como mostrado na Figura 16.



**Figura 16 – HM-4140 Master Controller e suas divisões.**  
**Fonte: Manual Humboldt FlexPanels.**

A seção 1 refere-se ao visor digital que realiza as leituras de pressão de topo, de base e da célula em operação. Para realizar a leitura é necessário levantar a válvula de alternância localizada sob o regulador que se deseja realizar a leitura do grupo de controle de buretas, detalhado na Figura 17 (no HM-4150 o controlador mestre encontra-se junto com o grupo de controle de buretas). Portanto, somente uma leitura pode ser realizada por vez.

A seção 2 refere-se aos reguladores e medidores analógicos para controlar o suprimento de ar e vácuo. O regulador de pressão *Air Supply* é usado para controlar a pressão de ar proveniente de um compressor de ar externo. A pressão

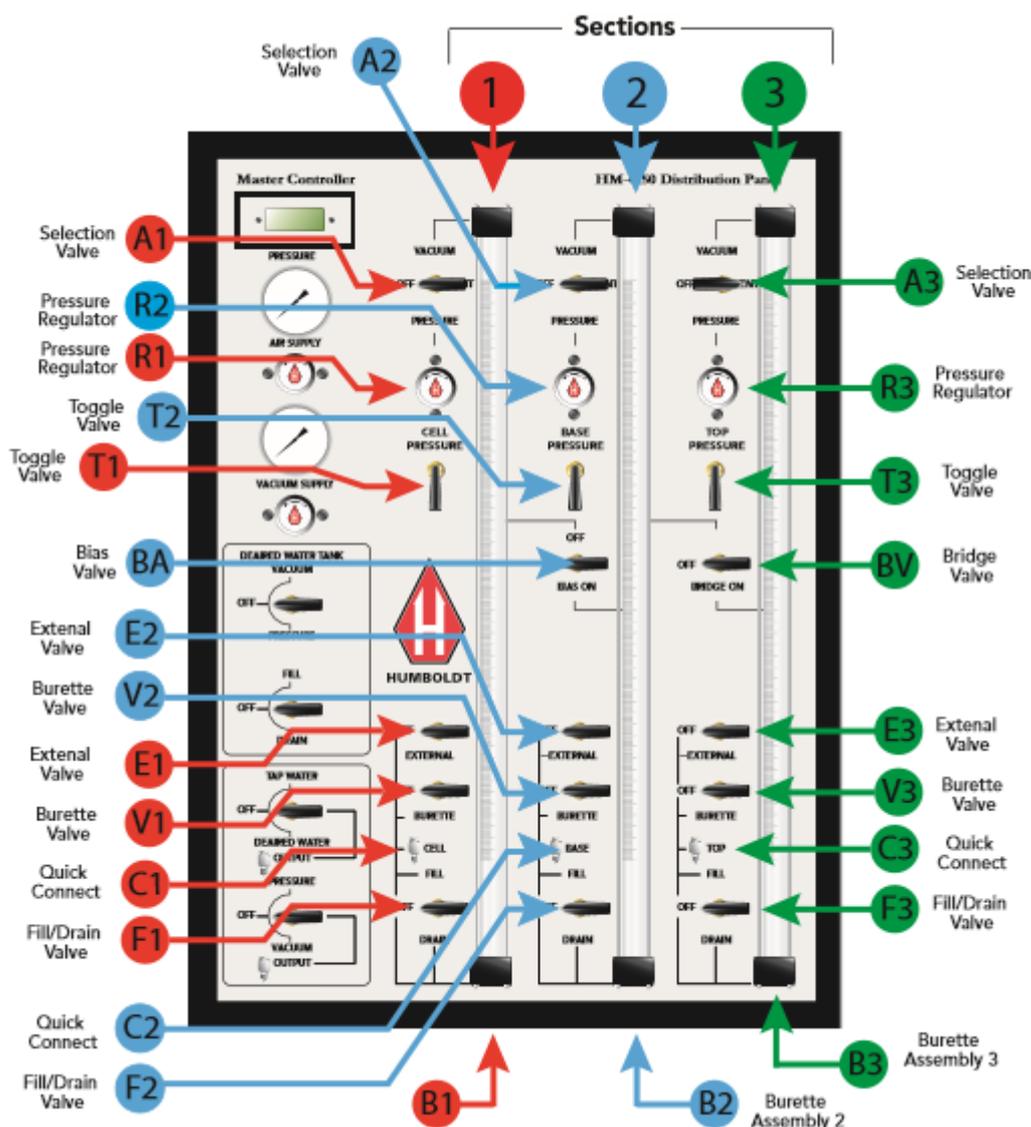
pode ser regulada entre 2 e 150 psi (14-1000 kPa) e a pressão de ar resultante é mostrada no medidor analógico. É recomendado que a pressão configurada seja 5 psi (35 kPa) mais baixa que a pressão proveniente do compressor.

O segundo regulador controla o suprimento de pressão de vácuo e a leitura é mostrada no medidor analógico. É necessária uma bomba de vácuo externa para uma conexão com o painel, que irá fornecer, quando necessário, o recurso do vácuo para a fabricação de água deaerada e para específicas funções nos ensaios.

A seção 3 controla o tanque de água deaerada. A válvula superior tem duas linhas de entrada. Uma é conectada a bomba de vácuo e a outra a um regulador de baixa pressão (menos de 5 psi), o qual foi predefinido na fábrica. A saída se conecta ao topo do tanque de água deaerada. A válvula inferior também tem duas tubulações de entrada. Uma leva a uma saída de despejo de líquidos e a outra é conectada a um suprimento de água, da torneira, por exemplo. A saída é conectada a entrada na parte inferior do tanque água deaerada ou, a depender do modelo, em uma terceira conexão no topo do tanque.

A seção 4 controla os recursos de água, ar comprimido e vácuo. A válvula superior pode ser configurada para fornecer água da torneira ou água deaerada ao conector rápido localizado abaixo dela. A válvula inferior fornece uma pressão de ar regulada ou vácuo regulado para a conexão rápida abaixo dela. A pressão de ar é suprida pelo mesmo regulador que fornece ar ao tanque água deaerada e o controle da pressão de vácuo é feito pelo regulador de vácuo.

Para o grupo de buretas de controle o esquema da Figura 17 exemplifica uma divisão para melhorar as orientações.



**Figura 17 – Painel de controle com divisões das buretas de controle.**  
**Fonte: Manual Humboldt FlexPanels.**

Os controles do *FlexPanel* consistem de 3 buretas que são utilizadas para regular pressão ou variação de volume.

Para a seção 1, pode-se iniciar o entendimento pela orientação A1, que se refere à válvula de seleção e seleciona o tipo de pressão de entrada para o topo do conjunto de buretas. Pode-se selecionar VACCUM (vácuo regulado), VENT (atmosfera), OFF (fechado) ou PRESSURE (controlado por um regulador abaixo dele).

O regulador de pressão R1 fornece a pressão regulada para o conjunto de buretas na seção 1. O regulador na seção 1 é diferente dos reguladores das demais seções. Ele possui uma característica de viés, a qual quando acionada BIAS ON na

seção 2, item BA, adiciona a configuração de pressão da seção 2 à seção 1. Com a válvula na posição *on* (aberta), a pressão ajustada com o regulador R2 na seção 2 irá manter a diferença na pressão entre a seção 1 e 2 em proporção direta às configurações originais da seção. Ao tentar usar o botão para ajustar a pressão, o mesmo não irá girar facilmente como o regulador de tipo padrão.

Para monitorar a pressão ajustada no regulador há uma válvula de alternância T1 que é usada para conectar o regulador a saída da leitura de pressão. Para conferir a pressão enquanto o regulador é ajustado é necessário posicionar para cima a válvula e a leitura poderá ser conferida no visor do *Master Controller*. Somente uma pressão pode ser monitorada por vez. A válvula de alternância T1 deve ser fechada após a realização da leitura.

O conjunto de buretas B1 tem uma porta na parte superior que está ligada aos lados, externo e interno, da bureta. A parte inferior do conjunto de buretas tem duas saídas, a primeira conectada ao lado externo e a segunda ao lado interno das buretas. A bureta da seção 1 é de 50 mililitros graduada de 0,1 mililitros.

A válvula externa E1 é conectada a porta externa e ao conector rápido da célula C1. Quando a válvula é girada para a posição EXTERNAL a água irá fluir do lado externo da bureta para o conector rápido da célula C1.

A válvula da bureta V1 é conectada a bureta e ao conector rápido da célula C1. Com a válvula na posição BURETTE a água irá fluir da bureta para o conector rápido da célula C1. As válvulas externas e de bureta podem ser abertas ao mesmo tempo e o nível da água em ambos os lados da bureta deverá ser o mesmo.

A válvula F1 (FILL/DRAIN) é usada para encher e drenar o conjunto de buretas B1. Para encher as câmaras externas ou de buretas, a válvula externa C1 ou a válvula de bureta V1 devem estar abertas. Se a tubulação estiver conectada ao conector rápido C1 no processo de encher ou drenar, a válvula na base da célula deverá estar fechada. A válvula deve ser girada devagar para a posição DRAIN e a bureta ou a câmara de bureta externa irá drenar o recipiente ou a tubulação. Para utilizar a configuração de enchimento, o conjunto de buretas deve estar ventilado, com a válvula de seleção A1 na posição VENT. Em seguida, a válvula F1 pode ser

girada para a posição FILL e a água irá fluir para a bureta ou para a câmara externa. Isso deve ser feito vagarosamente e não exceder o enchimento suportado.

Na figura 18, mostra as buretas do equipamento.



**Figura 18 – Buretas do painel de controle**  
Fonte: Autoria própria.

Para os controles da seção 2 o grupo de controle são primariamente os mesmos da seção 1. As diferenças constam de que o regulador R2 não é do tipo de viés. Ele fornece pressão regulada para conjunto de buretas na seção 2. Além do mais, ele pode ser utilizado em conjunto com a seção 1 no modo BIAS. Com a válvula BA na posição BIAS ON as configurações de pressão são transferidas para a seção 1.

O conjunto de buretas na seção 2 é de 10 mililitros de capacidade graduado em 0,02 mililitros, e a área das buretas é 0,263 cm<sup>2</sup>.

Na seção 3, o regulador de pressão R3 fornece pressão regulada para o conjunto de buretas.

A válvula de ponte BV leva a pressão do regulador R2 ao conjunto de buretas B3 quando está na posição BRIDGE ON. Para o uso da ponte, a válvula BA deve ser girada para a posição OFF, então o regulador fica isolado do sistema. Para o uso do regulador R3 com o conjunto de buretas B3 a válvula de ponte BV deve estar na posição OFF.

O conjunto de buretas B3 é de 10 mililitros graduada de 0,2 mililitros e a área da bureta é de 0,263 cm<sup>2</sup>.

## 5.1 MATERIAIS

O primeiro passo consistiu em identificar as peças e consultar o manual do equipamento. A pesquisa inicial cruzou dados dos manuais com o acervo disponível na internet a respeito do ensaio e obteve as informações com base no que consta da Figura 19, a seguir:



**Figura 19 – Equipamento para ensaio de compressão triaxial.  
Fonte: Autoria própria.**

Segundo demarcação na Figura 19:

- 1- Prensa eletrônica, HM 3000-Humboldt;
- 2- Célula triaxial;
- 3- Reservatório para *água deaerada*;
- 4- Painel de controle hidráulico/pneumático, *FlexPanel Control*, HM 4150-Humboldt;
- 5- Secador de ar, Metalplan.

As Figuras 20 e 21 a seguir designam os componentes necessários ao funcionamento do painel de controle hidráulico/pneumático. Os requisitos mínimos para o compressor de ar é de que ele forneça 3 cfm (pés cúbicos por minuto) a 125 psi (libra por polegada quadrada) ou 150 psi com reserva de 113,56 litros (30 galões americanos). Já para a bomba a vácuo, o painel de controle possui um regulador que mantém o vácuo entre 0 e 14,7 psi (29 hg, 101 kPa ou 760 mm Hg). Além desses componentes, os ensaios ocorrerão com amostras submersas, logo é importante deixar preparado o fornecimento de água. Também é importante deixar um reservatório disponível para o descarte da água utilizada.



**Figura 20 – Compressor de ar, capacidade 200 litros.**  
Fonte: Autoria própria.



**Figura 21 – Bomba de vácuo.**  
**Fonte: Autoria própria.**

A Figura 22 mostra peças necessárias à instalação do equipamento e à preparação e execução de ensaios.



**Figura 22 – Peças para instalação do equipamento de ensaio triaxial identificadas enumeradas.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Segundo a enumeração marcada:

1- Mangueiras para conexão dos *plug in/out*;

- 2- Conectores de mangueiras;
- 3- Membrana de borracha;
- 4- Transdutor de pressão;
- 5- Cabos de conexão com um computador;
- 6- Transdutor de deslocamento;
- 7- Célula de carga;
- 8- Peças de acoplagem na célula de carga conforme específicos ensaios;
- 9- Aparelho utilizado para montagem de amostras;
- 10- Pedras porosas e de acrílico;
- 11- Plugue de tomadas variados;
- 12- Cabo alimentador do *FlexPanel*.

## 5.2 MÉTODOS

A etapa seguinte consistiu em identificar as conexões presentes no *FlexPanel*, estudar como cada uma funciona e como conectá-las. As Figuras 23, 24 e 25 mostram a parte de trás do painel de controle hidráulico/pneumático e os referidos conectores.



Figura 23 – Vista das conexões no *FlexPanel*.  
Fonte: Autoria própria.



Figura 24 – Vista das conexões da lateral da parte traseira do *FlexPanel*.  
Fonte: Autoria própria.



**Figura 25 – Vista da parte traseira do *FlexPanel*.  
Fonte: Autoria própria.**

### 5.2.1 INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO

O manual HM-4150, Humboldt *FlexPanel*, consta em tópicos a maneira recomendada para se fazer as conexões hidráulicas e pneumáticas, para isso deve-se seguir algumas recomendações para a instalação:

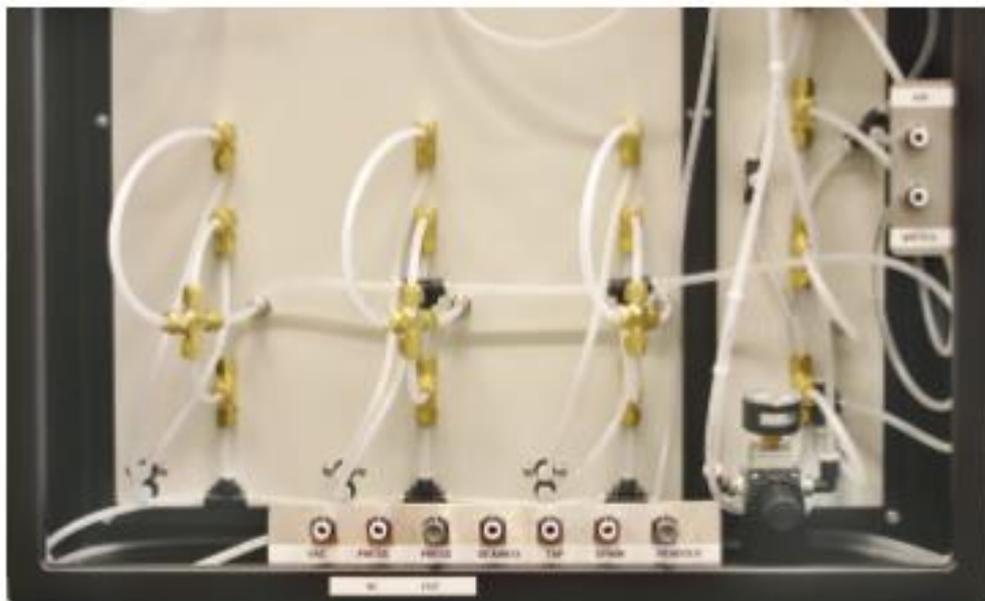
É vantajoso permitir o fluxo do operador ao redor de onde o equipamento estiver instalado e garantir espaço suficiente para trabalhar com a célula triaxial.

Também é necessário fornecimento de ar comprimido com um compressor com requisitos de 3 pés cúbicos por minuto a 125/150 psi (libra por polegada quadrada) e capacidade de 30 galões americanos. Uma tubulação para fornecimento de água da torneira deve estar preparada para abastecer o tanque de água deaerada e o painel de controle diretamente. Uma bomba de vácuo deverá prover pressão de até 14,7 psi (29 hg, 101 kPa ou 760 mm Hg).

Também, é necessário preparar um local para descarte da água utilizada durante os ensaios.

As conexões da parte traseira do painel de controle, já montadas na fábrica, e que comportam todo o fluxo de fluidos do equipamento, estão ligadas a dois pratos

de conectores de serviço, que são placas metálicas com os conectores preparados para o encaixe, com conexões de plástico de 20 pés ou ¼ de polegada, exemplificados na Figura 26.



**Figura 26 – Pratos de conectores de serviço.**  
**Fonte: Manual Humboldt *FlexPanels*.**

Com essas noções é possível dar início a instalação do equipamento.

É necessário um tubo de ¼ de polegada de diâmetro para as conexões:

- Conectar uma tubulação no suprimento de ar ao conector Press in no prato de serviço mais baixo atrás do painel.
- Conectar a rede de água por uma tubulação ao conector Tap situado na parte mais baixa, atrás da máquina, também.
- Conectar uma tubulação do lado água do tanque *água deaerada* ao conector *Deaired*, situado no prato de serviço mais baixo atrás no painel de controle.
- Conectar uma tubulação do suprimento de vácuo ao conector Vac, também na parte mais baixa na tarseira do painel de controle.
- Conectar ou posicionar uma tubulação do tanque ou local adequado para drenagem ao conector Drain, na parte mais baixa atrás do painel de controle.
- Conectar uma tubulação do topo ou do lado ar do tanque de *água deaerada* ao conector Air no prato de serviço mais alto na parte traseira do painel de controle.

- Conectar uma tubulação do lado destinado a conexão para água, as conexões das extremidades do tanque de água deaerada ao conector Water no prato de serviço mais alto na parte traseira do painel de controle.

O passo seguinte consta em conectar o transdutor de poropressão ao *de-airing block*, que se localiza acoplado à própria prensa em um dos lados do prato que suporta a célula triaxial.

Após seguir todos os passos, a Figura 27 mostra o resultado de todas as conexões e a disposição do equipamento.



**Figura 27 – Equipamento e suas conexões realizadas.**  
Fonte: Autoria própria.

A recomendação para a posição do tanque de água deaerada é que fique acima do nível do painel de controle para que a água possa chegar até os equipamentos por diferença de carga hidráulica, a fim de evitar o condicionamento exagerado à pressão para se conseguir o fluxo de saída da água da câmara para o painel, o que conseqüentemente prejudica o processo de eliminação das bolhas de ar.

Também é importante que o local destinado ao equipamento seja previamente planejado para que seja possível a locomoção do operador pela frente e por trás do conjunto, pois é necessário espaço para o processo de preparo do corpo de prova, e também para operar comandos localizados na parte traseira.

Para a instalação da prensa, o HM-3000.3F, o manual Humboldt *Digital Master Loader*, recomenda os seguintes passos para as conexões elétricas:

- A unidade é pronta para uso. Anexar o cabo elétrico IEC à máquina e plugar no receptor de tomada da parede (caso necessário, utilize um adaptador devido as diferenças de padrão entre as tomadas do país de origem para com outros).
- Na parte de trás do painel estão localizadas 4 (quatro) entradas para instrumentações, as quais acomodam a célula de carga e as conexões dos transdutores. Essa configuração permite ao operador organizar 4 (quatro) diferentes instrumentos, os quais a unidade pode rapidamente alternar conforme a necessidade de vários tipos de ensaios.
- O HM-3000 pode ser conectado a um computador para utilização do HMTS da Humboldt, que é o software compatível com a prensa. A conexão é realizada via porta RS-232 na parte traseira da prensa.
- A conexão entre vários dispositivos pode ser feita a partir de um computador por meio da porta RS-485 do HM-3000. Para isso há a necessidade do HM-000375, que é um adaptador RS-232/RS-485 para o computador (que não é fornecido junto ao conjunto na aquisição) e um cabo CAT 5 que servirá para interligar os dispositivos adicionais a porta da prensa.

### 5.2.2 OPERAÇÃO DO PAINEL DE CONTROLE

As Figuras 28 e 29 mostram as orientações numéricas para que o modo de operar o painel de controle hidráulico/pneumático seja mais facilmente compreendido.

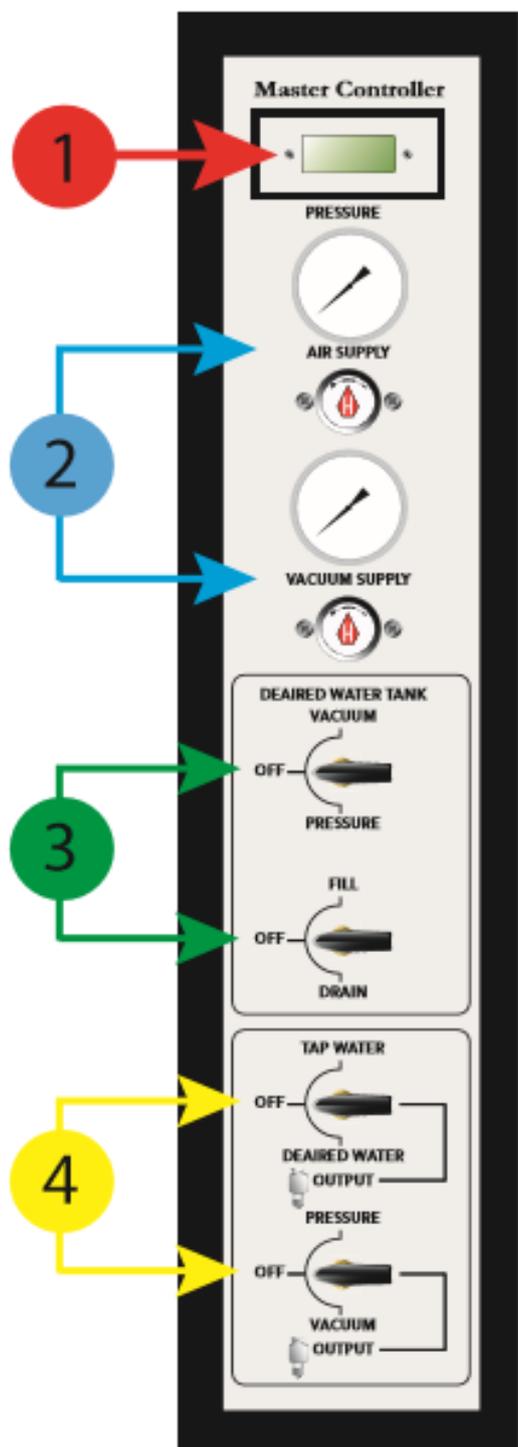
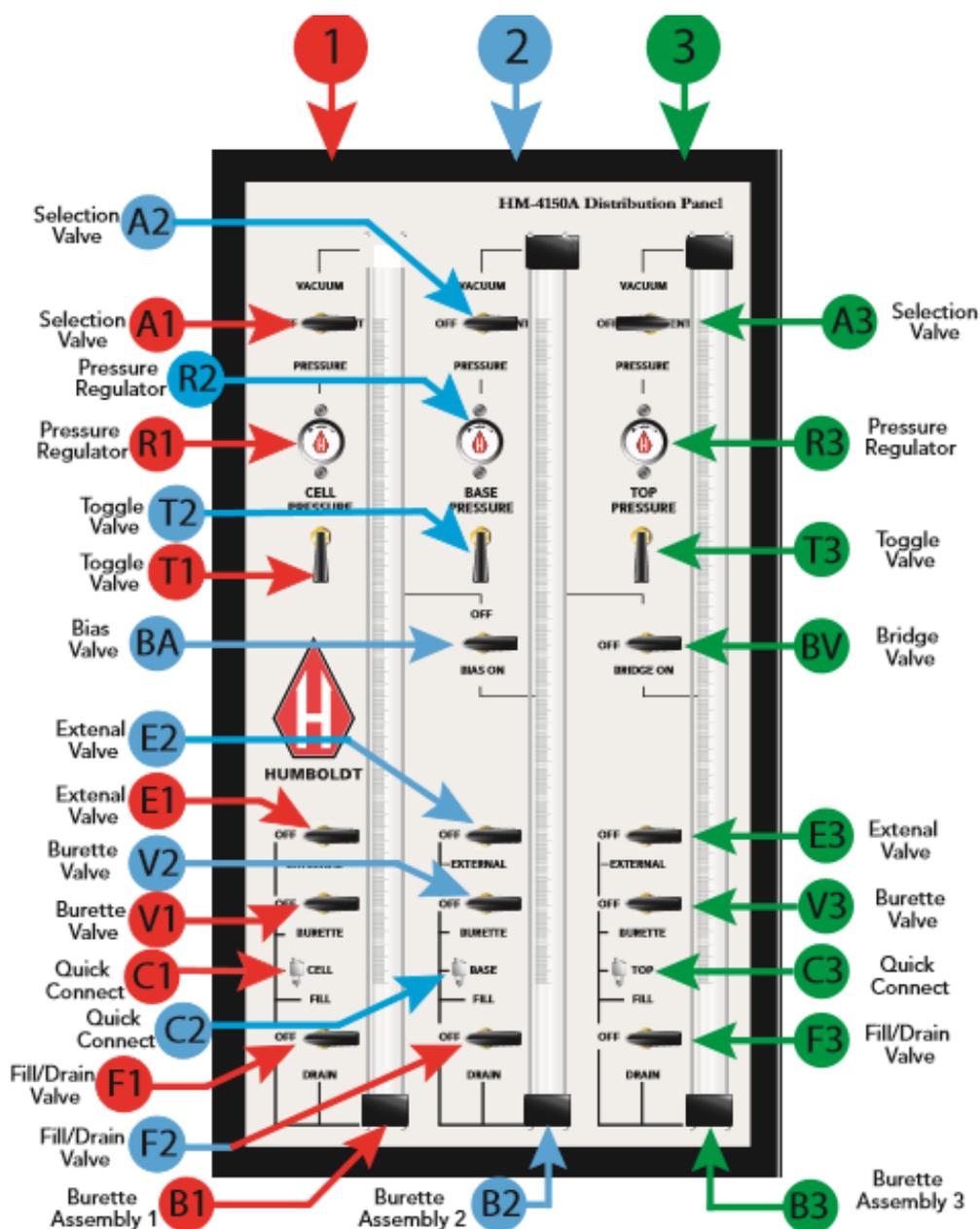


Figura 28 – Esquema do painel de controle.  
 Fonte: Manual Humboldt *FlexPanels*-HM-4140, HM-4150, HM-4160.



**Figura 29 – Esquema do painel de comando das buretas.**  
 Autoria: Manual Humboldt *FlexPanel*, HM-4140, HM-4150, HM-4160.

As informações a seguir referem-se ao modo de operar o painel de controle:

- Na seção *Master Controller* do painel, o leitor digital provê as leituras das pressões da célula, da base e do topo de uma célula de ensaio individual. Para realizar uma leitura de pressão, levante a válvula T1, T2 ou T3, de acordo com a seção que se pretende checar. Só é possível realizar uma leitura por vez.
- O prato de conexão mais abaixo no verso do equipamento tem um conector para uma tubulação de ar comprimido (Press in) que é conectado ao regulador de ar, o qual é ajustado à pressão desejada. Esta pressão é mostrada no

medidor de pressão do regulador. No sentido horário a pressão é aumentada e no anti-horário, diminuída.

- A conexão de saída para a bomba de vácuo é controlada por um regulador de vácuo conectado ao prato de serviço mais baixo na parte traseira do equipamento. A pressão de vácuo pode ser lida no medidor de pressão na frente do painel, acima do regulador. Há uma conexão para o vácuo regulado e para saída de conexão rápida de pressão/vácuo no canto esquerdo do painel de controle.

- Há duas válvulas no Master Controller que controlam as funções do tanque água deaerada. A válvula superior conecta o fornecimento de ar de baixa pressão ou o fornecimento de vácuo da bomba de vácuo. A pressão do ar é usada para direcionar a água do tanque para a seção individual de buretas de um grupo de buretas, ou também é usada para forçar a drenagem do tanque. O vácuo é usado para quando for necessário preparar água deaerada. A válvula mais baixa é usada para drenar o tanque ou enchê-lo com água do fornecimento (torneira ou outra forma de abastecimento).

- Para fazer a água deaerada com o tanque específico para essa água, pressupondo as conexões com o painel de controle já feitas, segue:

1. Configurar o regulador de vácuo no nível mais alto.

2. Acionar a válvula de vácuo do tanque água deaerada na seção 3 do *Master Controller*, o que irá aplicar vácuo ao tanque.

3. Encher  $\frac{3}{4}$  do tanque com água mediante a válvula Fill/Drain na posição Fill. Assim que a quantidade for atingida, desativar a válvula (posição OFF).

4. Aplicar o vácuo por 1 hora, e, através de uma análise visual, quando a água estiver desprovida de bolhas de ar, desligar o vácuo.

- Os controles do painel Humboldt *FlexPanel* são organizados em grupos de três buretas de controle, e cada qual pode ser usada para controlar pressão ou variação de volume. Há algumas diferenças entre cada uma delas:

1. A válvula de seleção (A1) seleciona o tipo da pressão de entrada para o topo do conjunto de buretas. Há quatro configurações:

- 1.1 Vacuum- Nesta posição, o vácuo regulado do painel de controle mestre ou outro vácuo conectado ao painel de serviço e conectado a seção da bureta. O vácuo é usado para retirar o ar da água no conjunto de buretas ou puxar uma parcela do vácuo na amostra. A água pode borbulhar a altos nível de vácuo.

1.2 Vent- Nesta posição, a seção de buretas é ventilada para a atmosfera. É usada para aplicar pressão atmosférica à seção da bureta.

1.3 Off- Nesta posição o topo da seção da bureta é selado.

1.4 Pressure- Nesta posição, a pressão controlada por um regulador abaixo da válvula é aplicada à seção da bureta.

Esta válvula tem a mesma função em todas as seções (A2 e A3).

É usada para aplicar pressão atmosférica ao topo do conjunto de buretas; enquanto se enche o conjunto de buretas antes da abertura da válvula. Para ventilar deve-se fechar uma das válvulas na célula e isolá-la do painel. Coloque a válvula (A1) na posição de pressão, a qual conecta a pressão do regulador abaixo da válvula ao topo do conjunto de buretas.

2. O regulador de pressão controla a pressão de ar proveniente da válvula de seleção de pressão, localizada abaixo do regulador. Para configurar uma pressão, levantar a válvula de alavanca, localizada abaixo do regulador de pressão, e então girar o regulador enquanto se monitora a pressão do visor digital do painel mestre. A pressão deve ser checada e ajustada após 15 minutos e mantido um monitoramento periódico quando houver necessidade de leituras das buretas.

3. As válvulas de alavanca são conectadas em séries de "T", direcionadas ao visor digital no painel de controle. Quando a válvula é acionada com movimento vertical para cima, a pressão das buretas de controle adjacente é indicada no visor digital. Somente um controle de buretas pode ser lido de cada vez.

4. A seção 2 de buretas (Base) é a única seção com válvula de polarização (BA). Está localizada abaixo da válvula de alavanca da seção 2. A válvula de polarização (BA) é usada para combinar a pressão de saída da seção 2 (Base) com a da seção 1 (Cell). Isto é realizado por meio de uma porta extra no regulador para a seção 1, a qual permite ser conectada à saída da seção 2 (Base) pela válvula de polarização. Quando está aberta, ela conecta a saída da seção 2 com a seção 1. Dessa forma, quando ajustes são feitos no regulador da seção 2 (R2) o regulador da seção 1 (R1) será trocado pelo mesmo montante. Esta característica pode ser usada durante o processo de saturação do corpo de prova mediante contrapressão, o que permite ao operador utilizar o regulador da seção 2

(R2) para alterar pressões, o que mantém a diferença de pressão entre a seção 1 (Cell) e seção 2 (Base).

5. A seção 3 (Top) é a única seção com válvula de ponte. Ela é localizada sob a válvula alavanca da seção 3. Quando aberta conecta a saída do regulador da seção 2 ao topo da bureta de controle da seção 3. A válvula de seleção de pressão da seção 3 (A3) deve estar na posição desligada (Off) quando a ponte for utilizada. Se as válvulas de polarização e a de ponte forem abertas juntas, o regulador da seção 2 poderá ser utilizado para aumentar a pressão igualmente entre as três seções de buretas de controle.

6. As válvulas de bureta e as válvulas externas são localizadas na parte inferior dos controles em cada uma das seções das buretas de controle. A válvula de bureta é conectada na parte inferior do conjunto de buretas da bureta interna, enquanto a válvula externa é conectada a bureta exterior. Ao abrir uma ou ambas as válvulas, conecte-as ao conector rápido na seção 1 (Cell). Quando a válvula de bureta é aberta, a bureta interna é conectada à conexão rápida na seção 1. Quando a válvula externa é aberta, a bureta externa é conectada à conexão rápida da seção 1. Essas válvulas podem ser ambas abertas ao mesmo tempo, o que resulta na busca pelo mesmo nível de água nas buretas externas e internas. Quando monitorar mudanças de volume, somente a válvula de bureta deve estar aberta.

7. As válvulas de enchimento e drenagem (Fill e Drain) localizadas na parte inferior de cada seção de buretas de controle são utilizadas para encher e drenar as buretas internas e externas do conjunto de buretas. Para encher, a bureta ou a válvula externa precisa estar aberta. A água para encher o conjunto de buretas vem da porta água deaerada no prato de serviço inferior. Não se pode encher o conjunto de buretas a menos que o topo esteja ventilado (Vent). O topo não tem que estar ventilado para drenar o conjunto de buretas.

Procedimento de ensaio de condutividade hidráulica triaxial:

Os passos para configurar uma amostra na célula de tensão triaxial ou uma célula de condutividade hidráulica não serão abordados.

- Para a conexão da célula triaxial é necessário entender que os grupos de buretas de controle do *FlexPanel* são compreendidas de três buretas de controle, que estão rotuladas como Cell, Base e Top. Essas correspondem as portas das

válvulas da célula triaxial que se referem aos rótulos. Para conectar a célula triaxial ao painel de controle é necessário um tubo de  $\frac{1}{4}$  de polegada de diâmetro para ligar as conexões rápidas (seção 1 do grupo de buretas de controle) a porta da válvula de pressão da célula. Para uma configuração de condutividade hidráulica, o comprimento do tubo deve ser o mais curto possível, sem exceder 2 pés (60,96 cm). Para a configuração de tensão triaxial, o tubo deve ser longo o suficiente para permitir a realocação da célula triaxial na prensa sem que desconecte a tubulação pressurizada da célula.

Duas tubulações de  $\frac{1}{8}$  de polegada são necessárias para conectar a base (Base, seção 2 do grupo de bureta de controle) e o topo (Top, seção 3 do grupo de buretas) aos correspondentes rotulados na porta das válvulas na célula triaxial.

- A considerar a água deaerada já preparada, encher as buretas com água deaerada a partir do uso do suprimento de pressão com o *Pressure* da válvula na seção 3 no controle mestre ou permitir a ação da gravidade do tanque de água deaerada, se este estiver posicionado acima do nível de painel de controle e acionar a válvula de seleção (A1, A2 e A3) para ventilar (Vent). Em seguida, encher as buretas externas de cada seção através da válvula externa (E1, E2 e E3) com o acionamento da posição *External*. Colocar a válvula Fill/Drain (F1, F2 e F3) devagar para permitir que a água encha a seção externa das buretas. Inicialmente haverá uma mistura de ar e água. Permitir que a bureta externa encha aproximadamente  $\frac{3}{4}$  da bureta, então desligar (posição Off) a válvula Fill/Drain (E1, E2 e E3). Colocar as válvulas das buretas (V1, V2 e V3) na posição *Burette*. Acionar as válvulas Fill/Drain (F1, F2 e F3) devagar para permitir a água preencher a seção interna da bureta. Permitir que a bureta interna preencha  $\frac{3}{4}$  do volume, e então desligar (Off) as válvulas Fill/Drain (F1, F2 e F3) e as válvulas das buretas (V1, V2 e V3).

- Antes de configurar uma amostra na célula triaxial, permitir que a água flua através dos tubos do topo e da base para esvaziar o ar da tubulação. Isto pode ser realizado ao alternar a válvula externa (E2 e E3) para a posição *External* e em seguida abrir a válvula da base e do topo na célula triaxial. Se a válvula da base estiver aberta e a válvula externa da base estiver acionada, água e bolhas de ar devem fluir dos buracos no pedestal da base na célula triaxial, e se a válvula de topo estiver aberta e a válvula externa de topo estiver acionada, água e bolhas de ar devem fluir da linha de drenagem do topo da célula triaxial. O processo de descarga está completo quando não houver mais bolhas provindas dos tubos da base ou do

topo, e quando não houver mais bolhas nos tubos que conectam a célula ao *FlexPanel*. Não permitir que toda água flua para fora da bureta externa. Se ela atingir o ponto próximo do limite deverá ser reabastecida a  $\frac{3}{4}$  da capacidade. Nota: a célula tem duas portas de dreno de topo e de base e somente uma é usada nesse momento.

- Saturar as pedras porosas e confine o mínimo de ar possível dentro da membrana que revestirá o corpo de prova. Uma vez que o corpo de prova esteja montado e a célula triaxial posicionada corretamente, a própria pode ser abastecida com água. Isso pode ser realizado de dois modos. Se a célula for abastecida com *água deaerada* e o tubo de  $\frac{1}{4}$  de polegada estiver plugado na conexão rápida (C1):

1. Certificar-se de que a válvula externa (E1) e a válvula da bureta (V1) estejam na posição OFF;
2. Certificar-se de que o topo (TOP) da célula triaxial esteja ventilado (VENT);
3. Girar a válvula FILL/DRAIN (F1) para a posição e a célula deverá iniciar o enchimento com água;
4. Quando a água começar a sair pelo topo da célula, desligar a válvula FILL/DRAIN (F1);
5. Fechar a ventilação no topo da célula.

A célula também pode ser abastecida com água comum ou com água deaerada a partir do painel de controle:

1. Desplugar a tubulação de pressurização da célula do conector rápido (C1) e plugue-a no conector rápido (P1) abaixo da válvula de água WATER/DE-AIRED na seção controle mestre do painel;
2. Certificar-se de que o topo da célula esteja ventilado;
3. Colocar a válvula WATER/DE-AIRED na posição TAP WATER ou DE-AIRED, conforme o objetivo, para encher a célula;
4. Quando a água drenar pelo topo da célula desligar a válvula WATER/DE-AIRED;
5. Fechar a ventilação no topo da célula;
6. Desplugar a tubulação do conector rápido (P1) e plugue no conector rápido (C1) no painel.

- Para aplicar a pressão inicial da célula os seguintes passos devem ser seguidos antes de começar a saturação de contrapressão:

1. Se o tamanho da amostra for monitorado tome nota da referência de leitura antes de aplicar pressão à célula;
2. Girar a válvula de seleção (A1) para a posição de pressão;
3. Levantar a válvula de alternância (T1) e confira a pressão no regulador de pressão (R1);
4. A leitura pode ser aferida no visor digital do painel de controle mestre;
5. Ajustar o regulador de pressão para que fique entre 2 e 5 psi (14-35 kPa);
6. Gire a válvula externa (E1) ou válvula da bureta (V1) para a posição aberta;
7. Abrir a válvula de pressão da célula na célula e ela será pressurizada.

- Para esvaziar o ar da tubulação de drenagem da célula triaxial ou qualquer ar preso durante a montagem da amostra, segue o procedimento para a base e o topo.

1. Girar a válvula de seleção (A2 ou A3) para a posição VENT;
2. Girar a válvula externa (E2 ou E3) para a posição EXTERNAL;
3. Abrir a válvula de drenagem da base ou do topo, conforme o procedimento desejado, da célula triaxial, a qual não está conectada ao painel de controle para que a água possa fluir pelas válvulas da base ou topo e expulsar bolhas de ar da tubulação de drenagem. Se um transdutor de pressão estiver conectado à válvula de drenagem da base ou topo será necessário que esteja ventilada para que a água possa passar;

4. Quando não houver mais ar na tubulação de drenagem fechar as válvulas usadas para lavar a tubulação de drenagem da base ou topo.

- Para a saturação da amostra à contrapressão.

1. Girar a válvula de seleção (A2) para a posição PRESSURE;
2. Girar válvula de viés para a posição BIAS ON;
3. Girar a válvula da bureta (V2) para a posição BURETTE;
4. Girar a válvula de seleção (A3) para a posição OFF;
5. Girar a válvula de ponte (BV) para a posição BRIDGE ON;
6. Girar a válvula da bureta (V3) para a posição BURETTE;

7. Certificar-se de que as válvulas de topo e da base da célula triaxial, as que estão conectadas ao painel de controle, estejam abertas. Conferir a pressão da célula pela válvula de alternância (T1);

8. Conferir o nível da água na bureta nas seções 2 (Base) e 3 (Top) e certificar-se delas estarem metade;

9. Aplicar a contrapressão ao corpo de prova;

a. Fazer a leitura da poropressão e das buretas na seção 2 (Base) e 3 (Top);

b. Levantar a válvula de alternância (T2) para abri-la;

c. Ajustar a contrapressão pelo regulador (R2). Aumentar a pressão para 5 psi (35 kPa). Quando a pressão estiver aumentada conferir o corpo de prova e a bureta para ter certeza que a membrana não irá estourar. Se a água da bureta nas seções 2 (Base) e 3 (Top) encher a membrana, fechar as válvulas do topo e da base na célula triaxial e conferir se a pressão na seção 1 (Cell) aumentou. A pressão pode ser aferida no visor digital no painel de controle;

d. Conferir a pressão da célula ao levantar a válvula de alternância (T1) na seção 1 e faça a leitura. A pressão da célula deverá ter aumentado em 5 psi (35 kPa). Se a pressão não tiver aumentado corrija no regulador de pressão (R1).

Para checar a válvula B durante a saturação da contrapressão:

1. Conferir a contrapressão através da válvula de alternância (T2) na seção 2 (Base). Faça ajustes na leitura, se necessário;

2. Conferir a pressão da célula através válvula de alternância (T1) na seção 1 (Cell) e fazer ajustes se necessário;

3. Fechar as válvulas de drenagem do topo e da base na base da célula triaxial;

4. Fazer a leitura do transdutor de poropressão;

5. Ajustar a contrapressão, levantar a válvula de alternância (T2) na seção 2 (Base). Aumentar a pressão de 5, 10 ou 20 psi (35, 70 ou 140 kPa);

6. Fazer a leitura do transdutor de poropressão. Monitore por 1 a 2 minutos;

7. Abrir a válvula de drenagem da base e do topo na base da célula triaxial;

8. Determinar o parâmetro B de Skempton (poropressão produzido por um incremento isotrópico de tensões):

$$B = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma}$$

$\Delta u$  = Variação na poropressão

$\Delta \sigma$  = Variação de tensão total

Para mais informações sobre o parâmetro B de Skempton, sugere-se consultar Lambe & Whitman (1969).

A água que é conduzida à amostra pode ser monitorada na bureta nas seções 2 (Base) e 3 (Top).

- Para o adensamento do corpo de prova, após a saturação da contrapressão:

1. Conferir a contrapressão através da válvula de alternância (T2) localizado sob o regulador de pressão (R2) na seção 2 (Base) e fazer ajustes necessários, então feche a válvula;

2. Verificar o nível da água nas buretas na seção 2 (Base) e 3 (Top). O nível deve estar próximo ao fundo para que o volume da água vinda da amostra possa ser medido;

3. Fechar as válvulas de drenagem para o topo e a base na célula triaxial;

4. Aumentar a tensão efetiva à pressão de adensamento desejada. Isto é feito com o ajuste do regulador de pressão (R1) à pressão na qual iguale a soma da pressão de adensamento efetiva e a contrapressão. Para ajustar a pressão, levantar a válvula de alternância (T1) localizada sob o regulador de pressão (R1) na seção 1 (Cell). Mude a pressão com o regulador de pressão. Em seguida, feche a válvula de alternância;

5. Faça leituras nas buretas para a base (Seção 2) e topo (Seção 3). Cronometrar e abrir a válvula de drenagem na célula triaxial ao mesmo tempo. Fazer leituras nas buretas para monitorar o grau de adensamento.

- As etapas a seguir servem para cisalhar o corpo de prova após o adensamento:

1. Conferir a contrapressão com o acionamento da válvula de alternância (T2) localizada sob o regulador de pressão na seção 2 (Base). Anotar a leitura e não fazer ajustes. Após isto, fechar a válvula de alternância (T2);

2. Conferir a pressão da célula ao acionar a válvula de alternância (T1) sob o regulador de pressão (R1) na seção 1 (Cell). Fazer a leitura, não fazer ajustes, então fechar a válvula;

3. Colocar a célula na posição de carga e fazer a leitura do transdutor de poropressão;

4. Fazer os outros passos necessários de acordo com a ASTM Standard D4767-11;

5. Para o cisalhamento sem drenagem, fechar as válvulas de drenagem na célula triaxial, as que não estão conectadas ao transdutor de pressão.

- Os passos seguintes devem ser seguidos após a saturação ou adensamento da contrapressão para configurar o painel para a condutividade hidráulica. Há passos adicionais a serem seguidos quando um ensaio estiver em andamento, mas dependerá do tipo de ensaio e da especificação do equipamento que é usado com o *FlexPanel*:

1. Levantar a válvula de alternância (T3) localizada sob o regulador de pressão (R3) na seção 3 (Top). Ajustar o regulador de pressão (R3) para fazer a mesma leitura no regulador (R2) na seção 2 (Base). Fechar a válvula de alternância (T3);

2. Girar a válvula de seleção (A3) na seção 3 (Top) para a posição PRESSURE;

3. Girar a válvula de ponte (BV) para a posição OFF;

4. Configure a pressão mestre da amostra com o ajuste do regulador (R2) na seção 2 (Base);

5. Fazer ajustes da tensão efetiva na amostra com o uso do regulador de pressão (R1) na seção 1 (Cell);

6. Monitorar o fluxo de água que entra e sai do corpo de prova com o uso das buretas nas seções 2 (Base) e 3 (Top);

7. Quando ajustar o nível de água nas buretas, fechar a válvula de drenagem na célula triaxial antes. Girar as válvulas de seleção (A2) e (A3) para a posição VENT, então utilizar FILL/DRAIN para ajustar o nível nas buretas.

### 5.2.3 PRENSA DO EQUIPAMENTO

Para os passos seguintes foi consultado o manual *Humboldt Digital Master Loader*, que se refere às instruções de operação da prensa HM-3000, da marca Humboldt, mostrada na Figura 30.



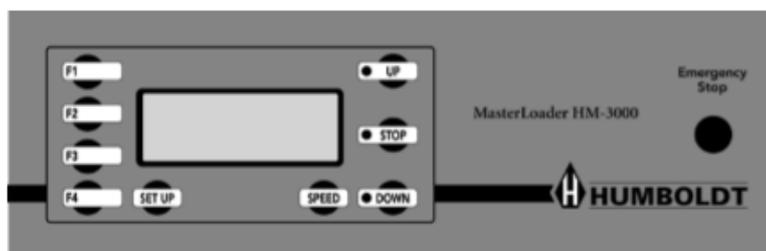
**Figura 30 – Prensa de solos HM-3000.3F.**  
Fonte: Autoria própria.

O interruptor Liga/Desliga está localizado na parte de trás da máquina sobre a entrada do cabo de alimentação de energia. Entre esses dois descritores localiza-se o compartimento de fusível, como na Figura 31, de 10 A. Para começar a operação do equipamento, ligue o interruptor.



**Figura 31 – Interruptor Liga/Desliga da prensa com detalhe da posição do fusível.**  
Fonte: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.

As funções das teclas correspondem aos botões da parte frontal do painel da prensa, exemplificado na Figura 32.



**Figura 32 – Esquema da parte frontal do visor da prensa HM-3000.**  
**Fonte: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

O botão de parada de emergência (*Emergency stop*) é usado para parar rapidamente o movimento do cilindro. Quando esse botão for acionado é necessário que o operador aperte o botão *stop* e puxe o botão de parada de emergência de volta para desativar a função. Assim, as funções *up* e *down* ficam liberadas novamente. Se o botão de parada de emergência for desativado antes do botão *stop* ser acionado, a máquina irá emitir um som até que o botão seja apertado.

A tecla de configuração, *set up*, abre o menu de execução de um ensaio, de revisão de um ensaio já realizado, as funções de engenharia e as configurações de tempo, data, unidades. Este botão também é usado para voltar a tela do visor.

A tecla de velocidade, *speed*, permite o controle da velocidade dos ensaios.

A tecla para cima, *up*, permite que se mova o cilindro para cima e facilite o ensaio. Também permite, quando mantida pressionada, que o cilindro seja movimentado mais rápido (3 polegadas/min). Quando essa tecla é acionada uma luz verde é acesa ao lado dela.

O botão de parada, *stop*, cessa o movimento do cilindro, e também tem uma luz verde que indica o seu acionamento.

O botão para baixo, *down*, permite mover o cilindro para baixo, e se mantido pressionado aumenta a velocidade do movimento para 2 polegadas/min. Há, também, uma luz verde de acionamento.

Os botões F1, F2, F3 e F4 são usados para navegar através do menu do visor do HM-3000. As funções dos botões correspondem à linha de comando no visor. Linhas de comando que estejam ativas no visor são precedidas por um

asterisco (\*). Com a exceção de quando valores estiverem apresentados nos quatro canais, os botões de função servem para tarar os valores do visor, e a letra T será mostrada próxima ao nome do canal indicado com o valor zerado (Figura 33).

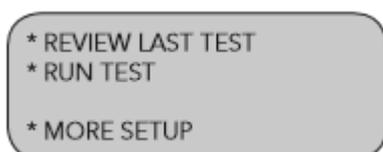


**Figura 33 – Exemplo da mostra do visor.**

**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader*- HM 3000.**

Para as funções de configuração, *set up*, segue as instruções:

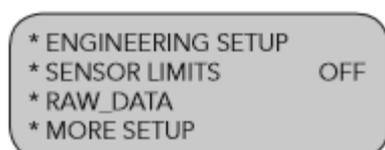
Para ajustar a data, pressione o botão *set up* até que a tela da Figura 34 seja vista.



**Figura 34 – Exemplo do visor.**

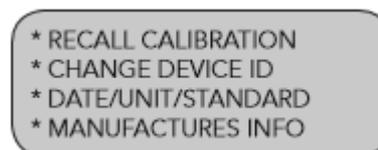
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader*-HM 3000.**

Aperte F4 duas vezes para que siga como na Figura 35 e 36, respectivamente.



**Figura 35 – Exemplo do visor da prensa.**

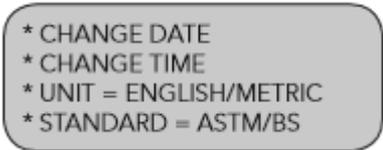
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader*-HM 3000.**



**Figura 36 – Exemplo do visor para ajuste de data.**

**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader*-HM 3000.**

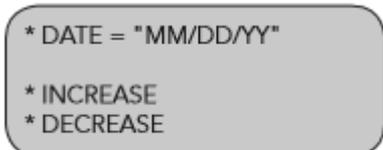
Aperte F3, para datas, unidades e padrões (*date, units e standards*), e deverá seguir como na Figura 37.



\* CHANGE DATE  
\* CHANGE TIME  
\* UNIT = ENGLISH/METRIC  
\* STANDARD = ASTM/BS

**Figura 37 – Exemplo do visor para alteração de data.**  
**Autoria: Manual Humboldt digital master loader-HM 3000.**

Aperte F1, *change date*, e a tela da Figura 38 deve aparecer:



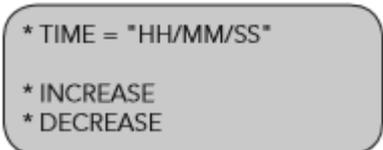
\* DATE = "MM/DD/YY"  
\* INCREASE  
\* DECREASE

**Figura 38 – Exemplo do visor final para alterar a data.**  
**Autoria: Manual Humboldt digital master loader-HM 3000.**

Aperte F1, a função data (*date = mm/dd/yy*), e selecione o mês, o dia e o ano. O botão F3 aumenta os números, e o F4 diminui. Para voltar a qualquer tela, pode-se sempre utilizar a tecla *set up*.

Para acertar a hora siga os mesmos passos até que a tela da Figura 33 seja vista, e então:

Aperte F2 (*change time*) e a tela da Figura 39 será exibida.



\* TIME = "HH/MM/SS"  
\* INCREASE  
\* DECREASE

**Figura 39 – Exemplo do visor para mudança de hora.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader*-HM 3000.**

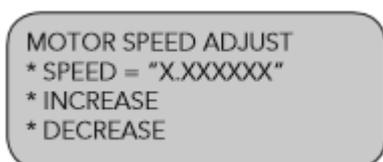
Aperte F1 (*time = hh/mm/ss*) para selecionar horas, minutos e segundos.

Para acertar as unidades repita os passos até a Figura 37, e então:

Aperte F3 (*units = english/metric*) para escolher entre as unidades métricas ou as inglesas. A escolhida piscará no visor.

Também é possível alternar as normas que a prensa se adequa entre ASTM e a *British Standard*. Para isso siga os mesmos passos até a Figura 37, e em seguida pressione F4 (*standard = astm/bs*). Selecione a norma escolhida, e esta irá piscar no painel.

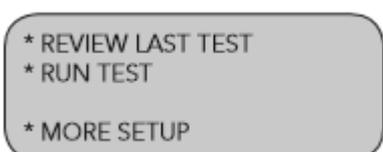
Para acertar a velocidade da prensa aperte o botão *speed* e a tela da Figura 40 será mostrada no visor:



**Figura 40 – Exemplo do visor para ajuste de velocidade.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader*-HM 3000.**

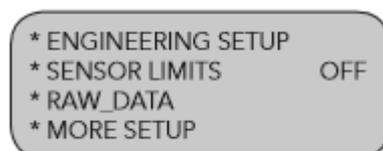
Aperte F2 (*speed*) para alternar entre as casas, e utiliza o F3 para aumentar o número e F4 para diminuir.

Para configurar um intervalo de registro para um ensaio com usuário definido aperte *set up* para aparecer no visor a Figura 41.



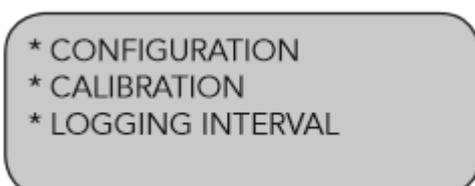
**Figura 41 – Exemplo do visor para ajuste de usuário definido.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader*-HM 3000.**

Aperte F4 para acionar o comando *more set up* e a Figura 42 aparecerá.



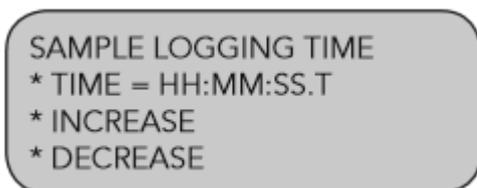
**Figura 42 – Exemplo do visor da função *more set up* para usuário definido.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader*-HM 3000.**

Aperte F1 (*engineering set up*) e a Figura 43 deve aparecer no visor.



**Figura 43 – Exemplo do visor para *engineering set up*.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader*-HM 3000.**

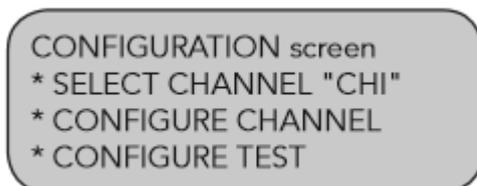
Aperte F3 (*logging interval*) para ver a tela da Figura 44.



**Figura 44 – Exemplo do visor para *loggin interval*.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Com o F2 é possível alternar entre a hora, os minutos, os segundos e os centésimos, e com o F3 e F4 aumenta-se e diminui-se os números, respectivamente.

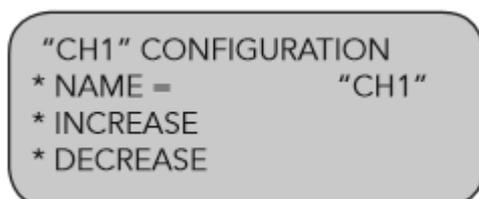
Quando se acopla um instrumento auxiliar à prensa é necessário configurar o canal para utilizar o dispositivo. Para isso, pressione o botão *set up* e siga as mesmas instruções para as Figuras 41, 42 e 43. Em seguida aperte F1 (*configuration*) e será necessário a entrada de uma senha, para isso conclua com a sequência F2, F2, F2, F3 e F4. No visor será mostrada a Figura 45.



**Figura 45 – Exemplo do visor para *configuration*.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Aperte F2 (*select channel*) para percorrer e escolher o canal de intenção. Uma vez selecionado o canal aperte F3 (*configure channel*).

Para nomear o canal continue no passo anterior, na sequência aperte F2 (*name*) para selecionar o nome que deseja trocar. Aperte o botão até que o nome desejado esteja indicado. A Figura 46 será exibida.

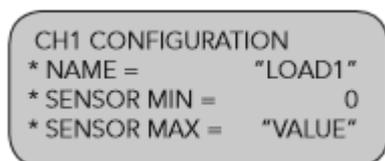


**Figura 46 – Exemplo do visor para configuração do canal.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Aperte F3 ou F4 repetidamente para percorrer os nomes dos canais disponíveis para uma escolha apropriada. As opções para nomes são as seguintes: CH1, CH2, CH3, CH4, LOAD1, LOAD2, LOAD3, LOAD4, DISP1, DISP2, DISP3, DISP4, FLOW, STAB, VERT, HORZ, PRES1, PRES2, PRES3, PRES4, VOLU1, VOLU2, VOLU3 e VOLU4.

É importante atribuir um nome apropriado ao canal porque o HM-3000 irá escolher a unidade de medida baseada no nome. Por exemplo, para a configuração da célula de carga (*load cell*) nomeie o canal com LOAD1, LOAD2, LOAD3 ou LOAD4. Isso irá assegurar que o canal leia em libras (kN). Faça o mesmo para o deslocamento (DISP 1, 2, 3 ou 4), a leitura será em polegadas (mm) e para a pressão (PRES1, 2, 3 ou 4) para a leitura em psi (kPa) etc.

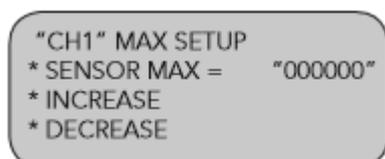
Uma vez que o nome tenha sido escolhido para o canal aperte *set up* para retornar a tela seguinte do visor. Um exemplo de tela para um canal configurado para a célula de carga é mostrado na Figura 47:



**Figura 47 – Exemplo do visor com canal nomeado LOAD1.**  
 Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.

O item *sensor min* não é configurável e é marcado como 0.

Para o *sensor max* aperte F4 e então será possível configurar o valor máximo do sensor, e a tela da Figura 48 será exibida:



**Figura 48 – Exemplo de visor para valor máximo do sensor.**  
 Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.

Com o F2 é possível alternar entre as casas do número referente ao *sensor max*. F3 e F4 permitem aumentar ou diminuir o valor da casa selecionada, respectivamente.

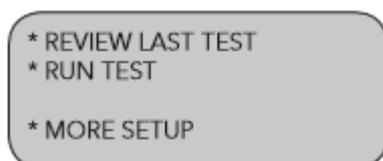
Abaixo segue uma lista de configuração para os instrumentos Humboldt. Esses são os números que correspondem a cada sensor da marca:

**Tabela 1 – Lista para configuração de instrumentos Humboldt.**

Célula de Carga	Nº Peça	Libra força	kN
1000 lbf (50kN)	HM-2300.100	10000	50
5000 lbf (25kN)	HM-2300.050	5000	25
2000 lbf (10kN)	HM-2300.020	2000	10
1000 lbf (5 kN)	HM-2300.010	1000	5
500 lbf (2,5 kN)	HM-2300.005	500	2,5
Transdutor LVDT	Nº Peça	Polegada	mm
0,4" (10 mm)	HM-2310.04	0,4	10
1,0 " (25,4 mm)	HM-2310.10	1	25
2,0" (50,8 mm)	HM-2310.20	2	50
Poropressão	Nº Peça	psi	kPa
100 psi (1000 kPa)	HM-2300.100	100	1000

**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader*-HM 3000.**

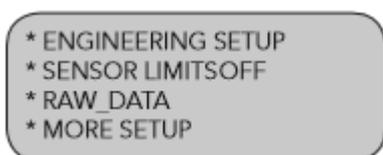
É possível configurar um canal para um ensaio específico, ao invés de executá-lo manualmente. Para isso pressione *set up* e a Figura 49 aparecerá:



**Figura 49 – Exemplo de visor para ensaio específico.**

**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader*-HM 3000.**

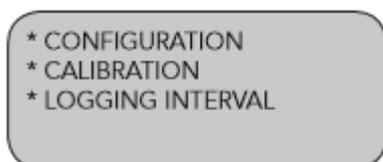
Aperte F4 para a Figura 50.



**Figura 50 – Exemplo de visor para segundo passo para ensaio específico.**

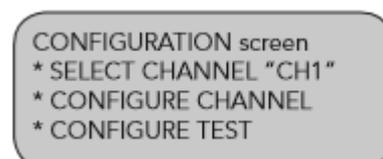
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader*-HM 3000.**

Aperte F1 (*engineering setup*) para a Figura 51.



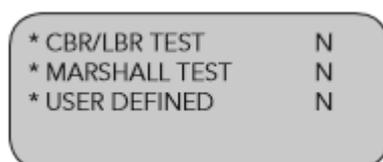
**Figura 51 – Exemplo de visor da prensa para ensaio específico.  
 Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Em seguida aperte F1 (*configuration*) e complete com a sequência F2, F2, F2, F3 e F4 para liberar a etapa e ver a tela da Figura 52:



**Figura 52 – Exemplo de visor após liberação com o código.  
 Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Aperte F2 (*select channel*) para percorrer e escolher o canal que se deseja configurar para um ensaio. Uma vez selecionado o canal aperte F4 (*configure test*) para ver a Figura 53:



**Figura 53 – Exemplo de visor final para ensaio específico.  
 Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Para atribuir um ensaio ao canal selecionado aperte o botão correspondente ao ensaio que se pretende. Quando escolhido, o "N" alternará para um "Y", assim o canal estará configurado para um ensaio.

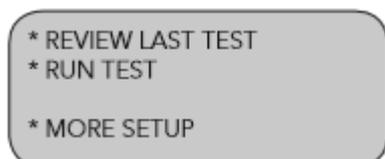
A orientação é de que múltiplos ensaios podem ser atribuídos a um canal, porém múltiplos canais da mesma categoria não podem ser atribuídos ao mesmo ensaio.

#### 5.2.3.1 CALIBRAÇÃO DOS INSTRUMENTOS

Os passos a seguir referem-se a calibração ou verificação da mesma para a prensa. Devem ser somente realizados por pessoal treinado apropriadamente e com

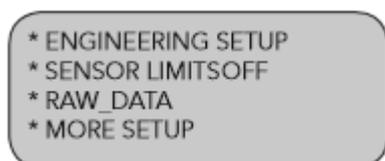
equipamentos certificados. Orienta-se calibrar o equipamento uma vez ao ano ou a julgar necessário.

Para calibrar um canal comece por apertar *set up* e a tela da Figura 54 aparecerá:



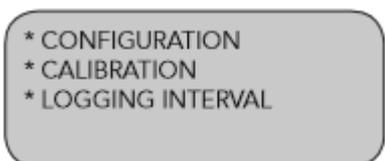
**Figura 54 – Exemplo do visor para calibração de canal.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Aperte F4, para a Figura 55:



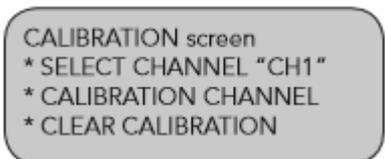
**Figura 55 – Exemplo do visor para segundo passo para calibração de canal.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Aperte F1 (*engineering set up*), para a Figura 56:



**Figura 56 – Exemplo do visor com a opção *engineering set up* aberta.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Aperte F2 (*calibration*) e uma senha será exigida. Complete com a sequência F2, F2, F2, F3 e F4 para poder continuar e aparecer na tela da Figura 57.



**Figura 57 – Exemplo do visor para a função *calibration*.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Aperte F2 (*select channel*) para alternar e escolher o canal que deseja calibrar. Uma vez escolhido aperte F4 (*clear calibration*). A partir desta etapa a antiga calibração está perdida.

Aperte F3 (*calibrate channel*) para a tela da Figura 58.



**Figura 58 – Exemplo de visor para canal 1.**

**Fonte: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Em seguida, aperte F2 (*set again*). Com o instrumento que se deseja calibrar montado em uma armação de calibragem ligada a prensa, registre o valor do *sensor min* com nenhum carregamento no instrumento (*X divisions*). Agora, aplique o valor máximo de carregamento ao instrumento na armação de calibragem e registre a leitura, novamente, do *sensor min* (*X divisions*). A diferença entre os valores precisa ser maior que a leitura presente no *sensor max*. Caso não seja é necessário aumentar o ganho para compensar a diferença. Aperte F2 (*set gain*) e repita até que a diferença entre os valores se enquadre na condição.

Um exemplo para a calibração é de que se houver uma célula de carga de 10000 lbs é necessário pelo menos 10000 divisões. Se o valor registrado na leitura do *sensor min* for de 450 divisões para a situação sem carregamento e o valor de 8450 na situação de carga total do instrumento, a diferença é de 8000 divisões. Para aumentar o ganho aperte F2 (*set gain*) até que se tenha mais de 10000 divisões.

Quando o ganho for definido, o ponto zero precisa ser definido também. Para isso, aplique 0% de força no sensor e aperte F3 (*set sensor min*). Agora aplique 100% de força ao sensor e aperte F4 (*set sensor max*).

A seguir a tabela 2 mostra os instrumentos de calibração Humboldt:

**Tabela 2 – Instrumentos de calibração Humboldt.**

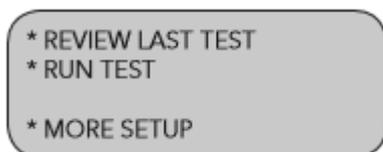
<b>Célula de carga</b>	<b>N° da peça</b>	<b>Inglês (divisões)</b>	<b>Ganho</b>	<b>Metrica (divisões)</b>	<b>Ganho</b>
10,000 lbf (50 kN)	HM-2300.100	10000	4	5000	4
5,000 lbf (25 kN)	HM-2300.050	5000	2	2500	4
2,000 lbf (10 kN)	HM-2300.020	20000	8	10000	4
1,000 lbf (5 kN)	HM-2300.010	10000	4	5000	4
500 lbf (2.5 kN)	HM-2300.005	5000	4	2500	4
Transdutor LVDT					
0.4" (10.0 mm)	HM-2310.04	4000	2	10000	2
1.0" (25.4 mm)	HM-2310.10	1000	1	25000	2
2.0" (50.8 mm)	HM-2310.20	2000	1	50000	4
Porepressão					
100 psi (1000 kPa)	HM-2300.100	1000	1	1000	1

**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader- HM 3000.***

### 5.2.3.2 IDENTIDADE DE DISPOSITIVO

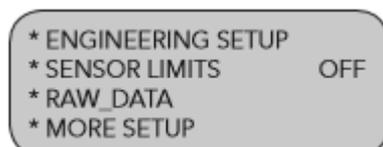
A identidade do dispositivo é de fábrica definida como 1. Se múltiplas unidades forem conectadas a um computador uma identidade de dispositivo deve ser estabelecida para cada unidade para que o computador reconheça a correta instrumentação e os motores corretos.

Para configurar uma identidade de dispositivo do HM-3000 aperte *set up* até ver a tela da Figura 59.



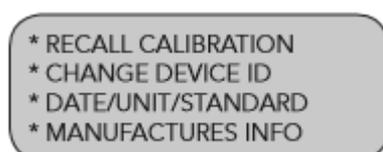
**Figura 59 – Exemplo do visor para configurar a identidade do dispositivo.  
Fonte: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Aperte F4 e a tela da Figura 60 será exibida.



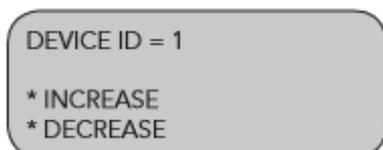
**Figura 60 – Exemplo do visor para segundo passo da identidade do dispositivo.  
Fonte: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Novamente, aperte F4 para a Figura 61:



**Figura 61 – Exemplo do visor para função *more set up* aberta.  
Fonte: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Aperte F2 (*change device*) para aparecer a Figura 62.



**Figura 62 – Exemplo do visor com a função *change device* aberta.  
Fonte: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Aperte F3 para aumentar o numero de identidade ou aperte F4 para diminuir. Quando a alteração estiver pronta aperte *set up* para voltar ao menu anterior. O limite de dispositivos que podem ser conectados a um computador é 16.

### 5.2.3.3 LIMITE DO SENSOR E DADOS NÃO TRATADOS

Os limites superiores do sensor podem ser configurados para ligado (*on*) e desligado (*off*). Se os limites superiores do sensor estiverem ligados e o ensaio em andamento estiver em progresso, quando o sensor atingir o limite o ensaio irá parar e uma mensagem e aviso aparecerá no visor. Se o sensor for desplugado da parte

de trás do painel de instrumentação a mesma mensagem de aviso será mostrada no visor.

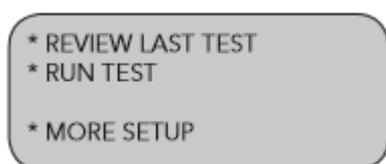
Os dados não tratados referem-se à saída digital do sensor anterior à aplicação do fator de calibração e conversão para as unidades de engenharia.

#### 5.2.3.4 ENSAIOS BÁSICOS

A operação da prensa para os ensaios de CBR, Marshall e os triaxiais deve seguir as etapas expostas a seguir.

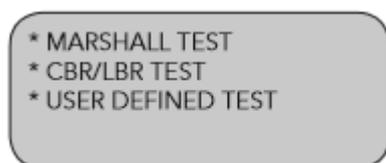
Para o ensaio de CBR, primeiro posicione o molde no centro do prato com o primeiro peso de sobrecarga no molde. Aperte o botão *up* para levantar o molde mais próximo do pistão de penetração. Deverá haver um espaço de aproximadamente 1/8 de polegada (3 mm) entre a amostra e o pistão.

Aperte *set up* e siga as operações exemplificadas a partir da figura 63, seguinte.



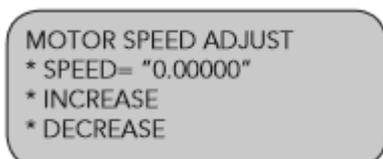
**Figura 63 – Exemplo do visor para ensaio CBR.**  
**Fonte: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Aperte F2 (*run test*) para prosseguir para a próxima etapa como mostra a Figura 64.



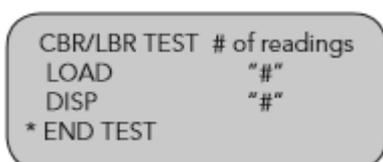
**Figura 64 – Exemplo de tela para *run test* para ensaio CBR.**  
**Fonte: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Aperte F2 (*CBR/LBR test*) para o que for apresentado no visor seja igual a Figura 65.



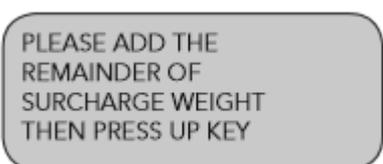
**Figura 65 – Exemplo de tela para a opção CBR/LBR aberta.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader*-HM 3000.**

Aperte F2 (*speed*) para acessar a leitura de velocidade na linha 2 na tela apresentada acima. Mantenha pressionado o F2 até que o dígito que se deseja configurar pisque. Quando o dígito estiver selecionado aperte F3 para aumentar o número ou pressione F4 para diminuir. Com a velocidade configurada aperte *up* para iniciar o ensaio, e a Figura 66 será mostrada no visor.



**Figura 66 – Exemplo de visor para CBR.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader*-HM 3000.**

O prato irá subir até que a carga de assento de 10lbs seja atingida. Em seguida, o prato irá parar e a carga e o deslocamento serão zerados. Deverá aparecer a tela da Figura 67.

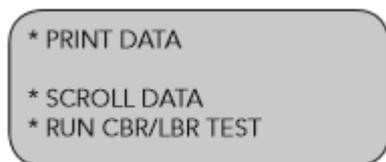


**Figura 67 – Exemplo do visor para ensaio de CBR em execução.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader*-HM 3000.**

Adicione o restante da sobrecarga e aperte *up*.

Se toda a sobrecarga for aplicada no início do ensaio, pressionar o botão *up* continua o ensaio. O HM-3000 iniciará o ensaio. No visor é apresentado a leitura do carregamento e deslocamento. A prensa faz a leitura do carregamento a cada 0,025 polegadas. Quando o deslocamento atinge 0,5 polegadas, a máquina pára, coleta dados e reverte a velocidade do prato para o limite mais baixo a 2pol/min (50,8mm/min). Em qualquer momento é possível pressionar o F4 para encerrar o

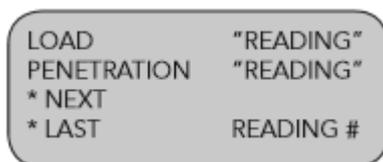
ensaio. Essa ação interrompe a coleta de dados e reverte a posição do prato para a mais baixa. A Figura 68 é mostrada no visor.



**Figura 68 – Exemplo de visor para impressão de resultados CBR.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Como o botão F1 (*print data*) os dados podem ser impressos em uma impressora ou salvos em arquivo ASCII em um computador com o uso do *Humboldt Material Testing Software*, o software da marca para auxílio nos ensaios, ou ainda no terminal *Hyper Windows*. Com os dados impressos ou transferidos outro ensaio pode ser iniciado após nova amostra moldada e posicionada no prato e iniciado com o botão F4 (*run CBR/LBR test*).

Se não houver uma impressora ou um computador conectado a prensa, o botão F3 (*scroll data*) permite listar os dados. A Figura 69 deve aparecer.

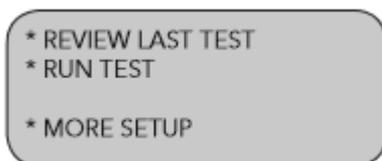


**Figura 69 – Exemplo de visor para consulta de ensaio CBR realizados.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Com o botão F3 (*next*) é possível percorrer entre as leituras e o F4 (*last*) permite consultar a última leitura realizada.

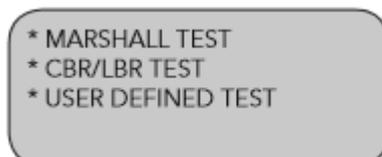
Para o ensaio Marshall a cabeça de quebra deve estar posicionada no prato. Aperte o botão *up* para subir a cabeça na posição de início, próximo a célula de carga. Um espaço de aproximadamente 1/8 de polegada (3mm) deve ser mantido entre a cabeça de quebra e a célula de carga.

O botão *set up* mostra o visor da Figura 70.



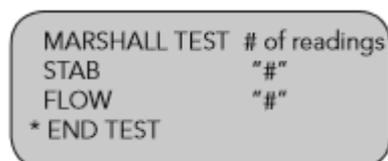
**Figura 70 – Exemplo de visor para ensaio Marshall.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader*-HM 3000.**

O botão F2 (*run test*) segue com a Figura 71.



**Figura 71 – Exemplo de visor para opção *run test* para ensaio Marshall.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader*-HM 3000.**

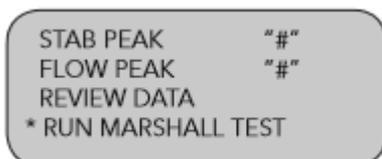
O botão F1 (*MARSHALL test*) inicia a subida do prato à taxa de 2pol/min (50,8mm/min). E a tela da Figura 72 é exibida.



**Figura 72 – Exemplo de visor para ensaio Marshall em andamento.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader*-HM 3000.**

O visor mostrará leituras em tempo real da estabilidade e medidas de vazão durante o ciclo do ensaio. É possível terminar o ensaio com o botão F4. Isto pára a coleta de leitura e reverte a posição do prato para baixo.

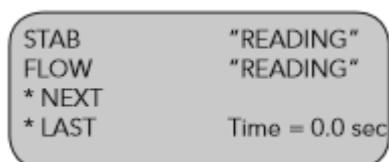
Como a cabeça de quebra faz contato com a célula de carga, o HM-3000 zera a estabilidade e a vazão automaticamente e inicia a leitura a cada 0,1 segundos. Quando a estabilidade atinge o pico (i. e. *peak load*) e cai de volta 2%, a coleta de dados é cessada e o prato inicia o movimento reverso de volta a posição baixa. Em seguida o visor mostra os resultados de pico, com exemplo da Figura 73.



**Figura 73 – Exemplo de visor para ensaio Marshall com resultado de pico.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader*-HM 3000.**

O botão F1 (*print data*) imprime os dados em uma impressora ou salva o arquivo em ASCII em um computador com o software de ensaio Humboldt Material ou em um terminal do *WINDOWS HYPER*. Quando os dados forem impressos ou transferidos, outro ensaio estará liberado para ser iniciado como o botão F4 (*run marshall test*), a notar que outra amostra deve ser arranjada no prato e posicionada na célula de carga novamente.

Se não houver uma impressora ou um computador conectado a prensa, o botão F3 (*scroll data*) permite listar os dados. A Figura 74 deve aparecer.



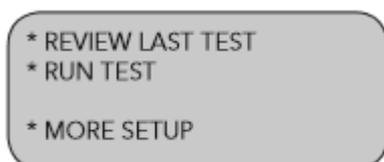
**Figura 74 – Exemplo de visor para ensaio Marshall para impressão de resultados. Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

O botão F3 (*next*) percorre através das leituras e o F4 (*last*) permite visualizar a ultima leitura realizada.

O ensaio de usuário definido pode ser usado para qualquer outro ensaio com excessão do Marshall e do CBR. Este modo refere-se ao ensaio triaxial CU que requer 3 canais associados (carregamento, deslocamento e poropressão da água); ao tiaxial UU que requer 2 canais (carregamento e deslocamento); ao de força compressiva não- confinado que também requer 2 canais (carregamento e deslocamento); ao ensaio de solo- cimento a ao TSR que requerem apenas um canal para carregamento.

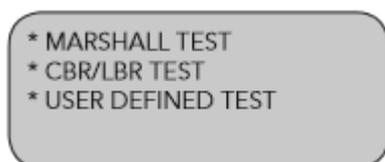
Para o ensaio de força compressiva não- confinado determina-se que a amostra seja posicionada no centro do prato. O botão *up* serve para elevar a amostra até a posição de inicial, próxima ao prato superior não- confinado. Um espaço de 1/8 de polegada (3mm) deve ser deixado entre o topo da amostra o prato superior não- confinado.

Na sequência o botão *set up* deve ser acionado e a Figura 75 será mostrada no visor.



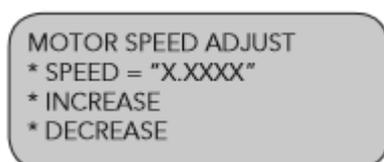
**Figura 75 – Exemplo de visor para ensaio de compressão não-confinada.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000.***

F2 (*run test*) aparecerá a Figura 76.



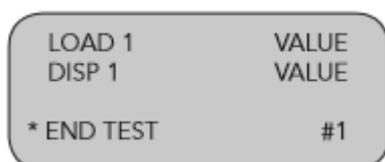
**Figura 76 – Exemplo de visor para ensaio de compressão não-confinada passo 2.**  
**Fonte: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000.***

Para a Figura 77, o botão F3 (*user defined test*) deve ser acionado.



**Figura 77 – Exemplo de visor para ensaio de compressão não-confinada, *user defined test.***  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000.***

O botão F2 (*speed*) acessa a leitura de velocidade na linha 2 na tela da Figura 77. Para escolher a velocidade aperte o F2 até que a unidade desejada pisque e então é possível aumentar ou diminuir o valor com os botões F3 e F4, respectivamente. Com a velocidade configurada o botão *up* iniciará o ensaio.

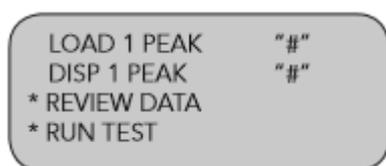


**Figura 78 – Exemplo de visor para ensaio de compressão não-confinada, ensaio em andamento.**  
**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000.***

O visor da Figura 78 mostrará a leitura do carregamento e do deslocamento em tempo real durante o ciclo de ensaio. É possível encerrar o ensaio com o botão F4, o que irá pausar toda a coleta de dados e retornará o prato para a posição mais baixa.

Quando a amostra fizer contato com o prato superior não-confinado a prensa automaticamente zera a leitura de carregamento e deslocamento e inicia a coleta de dados do carregamento conforme intervalo configurado (*logging interval*).

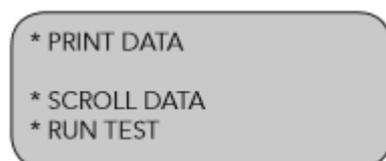
Quando a célula de carga atinge o pico de carregamento e reduz 2%, o HM-3000 para a coleta de dados e reverto o prato para a posição mais baixa à velocidade de 2 pol/min (50,8 mm/min). O carregamento deverá ser mostrado como na Figura 79.



**Figura 79 – Exemplo de visor para ensaio de compressão não-confinada com mostra de carregamento.**

**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

Valores de pico são mostrados nas duas primeiras linhas. Para rever todos os dados o botão F3 (*review data*) deve ser acionado e a Figura 80 deve aparecer no visor.



**Figura 80 – Exemplo de visor para ensaio de compressão não-confinada com apresentação de resultados.**

**Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.**

O botão F1 (*print data*) imprime os dados em uma impressora ou salva um arquivo no formato ASCII no computador pelo *software Humboldt Material* ou no terminal do *Windows Hyper*. Com os dados impressos ou transferidos é possível dar início a um novo ensaio com o botão F4 (*run test*).

No caso de haver uma impressora ou um computador conectado a prensa, o botão F3 (*scroll data*) permite percorrer os arquivos de dados, conforme a Figura 81.



Figura 81 – Exemplo de visor para ensaio de compressão não-confined para impressão.

Autoria: Manual Humboldt *Digital Master Loader-HM 3000*.

F3 (*next*) percorre as leituras.

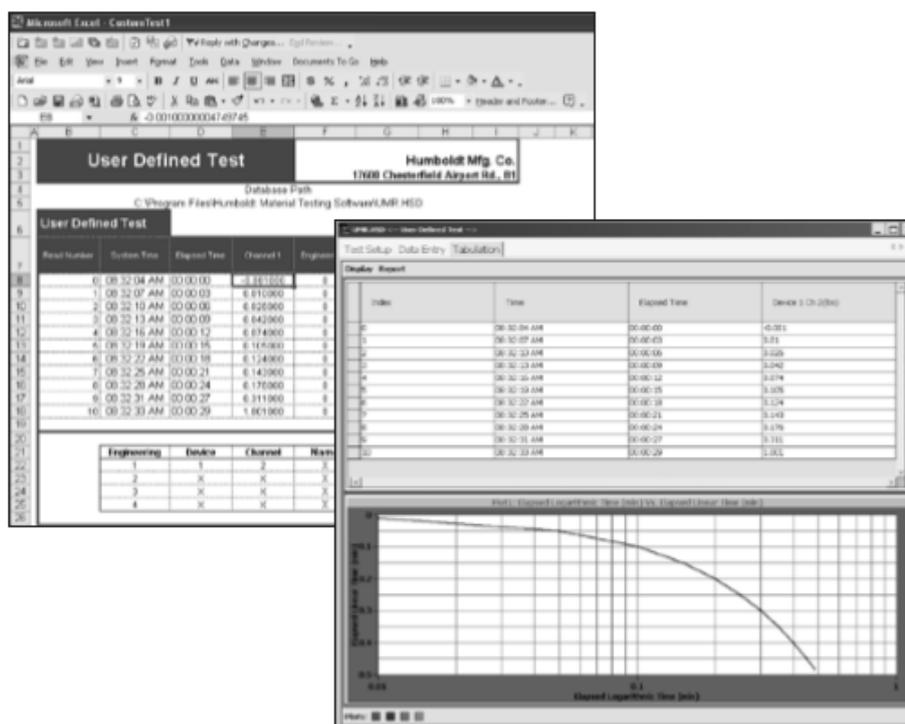
Para os ensaios de solo cimento, TSR, triaxial não-confined e não drenado e para o triaxial confined não drenado os mesmos procedimentos do ensaio comprimido não-confined devem ser seguidos. A diferença consta da quantidade de canais de leitura que devem estar abertos como já mencionado.

#### 5.2.3.5 SOFTWARE PARA COLETA DE DADOS

O HM-3000 é adquirido em conjunto com o *software* de coleta de dados HMTS. Este *software* pode ser usado para coletar dados dos ensaios com a criação de parâmetros para os ensaios de usuários definidos (início e parada). Os dados resultantes podem ser abertos no *Microsoft Excel* assim como os gráficos e tabelas.

Módulos e modelos opcionais de relatórios pré-definidos estão disponíveis para ensaio específicos, como o CBR, triaxial etc. Estes módulos providenciam maior controle de condições iniciais e finais dos ensaios, assim como providenciam relatórios estendidos.

A Figura 82 mostra alguns exemplos de tela quando o *software* está em utilização.



**Figura 82 – Exemplo de imagens do software.**  
**Fonte: Manual Humboldt Digital Master Loader-HM 3000.**

### 5.2.3.6 TESTES PARA AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES DO EQUIPAMENTO

A posição dos equipamentos durante a realização dos testes ficou distribuída conforme mostrado na Figura 83. Essa distribuição dos aparelhos e o local escolhido, foi consequência de tentativas anteriores de montagem que deixaram prontas tomadas 110 V e 220 V, uma tubulação para fornecimento de água proveniente do abastecimento predial e uma tubulação para ar comprimido, proveniente do compressor de ar, localizado externo ao laboratório, todas possíveis de serem observadas também na Figura 83. Esses Quesitos foram de muita utilidade pois supriram as necessidades de suas funções. Para que tudo pudesse ser ligado, além do já citado, foi utilizada uma extensão de fio elétrico com 4 adaptadores.



**Figura 83 – Distribuição dos equipamentos para realização dos testes.  
Fonte: Autoria própria.**

As etapas apresentadas para operação do equipamento, tanto prensa como o painel de controle hidráulico/pneumático foram todas testadas exatamente conforme as orientações de procedimento que constam nos manuais, a fim de verificar os níveis de água nas buretas e na célula triaxial; pressão nas válvulas; conexões de instrumentação; saídas para computador; funcionalidade do software; posição do equipamento no espaço reservado; funcionalidade do secador de ar, do compressor e da bomba de vácuo. É válido ressaltar que algumas tubulações externas, as mangueiras de  $\frac{1}{4}$  e  $\frac{1}{8}$  de polegada, necessitaram cortes no comprimento fornecido de fábrica para que houvesse tubulação disponível para se realizar todas as conexões. Os descartes da água utilizada no ensaio foram feitos em uma seção de despejo presente no próprio laboratório compartilhada com outros ensaios. Ao final dos procedimentos as tubulações e as conexões das instrumentações auxiliares ficaram dispostas conforme as Figuras 84, 85, 86 e 87.

O detalhe na Figura 84 da célula triaxial montada foi para estudar a locação dos instrumentos auxiliares, para testar a capacidade de vazão de água para dentro e fora dela, para testar a aplicação de pressão interna e para conferir a estanqueidade da câmara. Um detalhe a se considerar, não especificado com precisão pelo manual, é de que é necessário haver um escape para o ar enquanto a

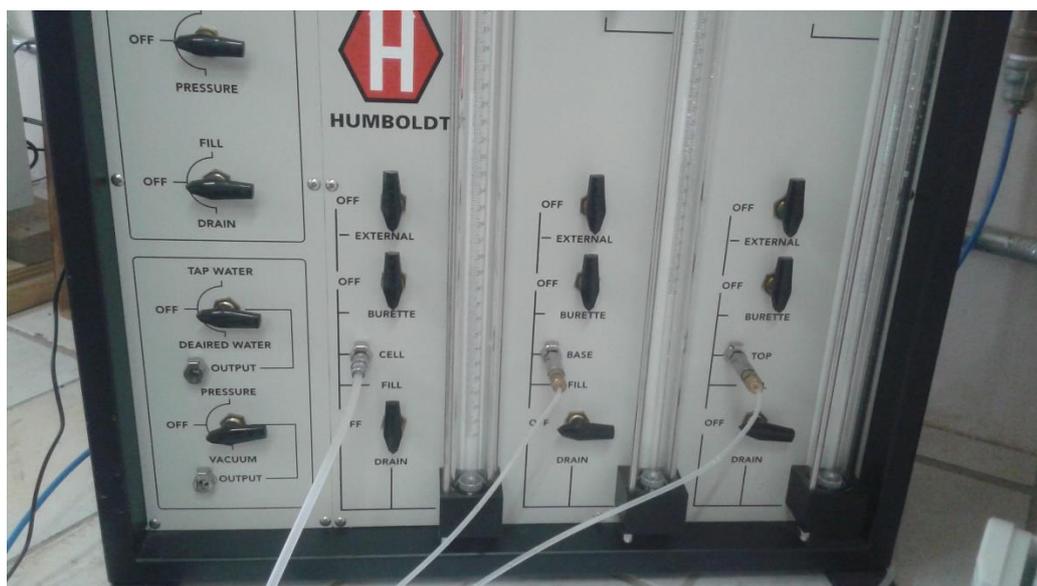
célula é abastecida ou esvaziada. Para isso, foi utilizado um pedaço de tubo e um conector rápido, que foram instalados em uma conexão própria para a função em questão, localizada no topo da câmara triaxial, e é possível observá-la, também, na Figura 82.



**Figura 84 – Distribuição das tubulações e conexões.**  
Fonte: Autoria própria.



**Figura 85 – Distribuição das conexões de tubulação e do computador.**  
Fonte: Autoria própria.



**Figura 86 – Conexões do painel de controle hidráulico/pneumático.**  
Fonte: Autoria própria.



**Figura 87 – Conexões do verso do painel de controle.  
Fonte: Autoria própria.**

Também foi averiguada a funcionalidade do procedimento para produção de *água deaerada* com os passos prescritos exatamente como constam no manual as etapas em sequência correta e o tempo de uma hora de espera para que a bomba de vácuo pudesse realizar o objetivo de retirar as bolhas de ar da água da câmara. Para posicionar a câmara foi utilizada uma banquetta improvisada durante os testes para que o nível da água ficasse acima do nível do topo do painel de controle.

Os testes para os transdutores de pressão foram realizados enquanto a célula triaxial, totalmente cheia, recebia alterações na pressão de confinamento e se registrava leitura no visor da prensa. O teste para o transdutor de deslocamento foi realizado de forma simples, com o apertar do dedo contra a ponta do acessório, e averiguado a leitura das informações transmitidas para o visor da prensa.

Também foi testada a movimentação vertical do prato da prensa onde a célula triaxial é apoiada, o botão de parada de emergência da prensa e, conseqüentemente, os botões de comandos das funções da prensa. Todo o

procedimento acionado conforme as indicações do manual com o apertar dos botões para as determinadas funções na prensa.

## 6 CONCLUSÕES

Todos os resultados dos testes realizados com a prensa e com o painel de controle hidráulico/pneumático, os quais condizem estritamente a estes elementos, foram satisfatórios. Foram utilizados os parâmetros fornecidos pelos manuais do produto entre as instruções de operação para aferir a funcionalidade dos componentes do equipamento. Todos os níveis de água estipulados para as buretas foram atingidos. As pressões também atingiram os valores estipulados pelos manuais de acordo com as etapas de operação e as leituras foram realizadas no leitor digital do *FlexPanel* para as três válvulas de pressão disponíveis, as quais sugerem, também, a funcionalidade do visor digital do painel.

A câmara triaxial foi testada quanto à sua capacidade de enchimento, estanqueidade, aplicação de pressão e esvaziamento. O detalhe observado neste teste é que para haver a entrada e saída de água da câmara triaxial é necessário permitir a saída de ar pelo topo da câmara.

Foi testada também a produção de água deaerada. A bomba de vácuo utilizada, necessária para a retirada das bolhas de ar da água no interior do reservatório, é comumente usada em outros ensaios de laboratório da UTFPR-CM, como na determinação da massa específica das partículas sólidas do solo, por exemplo. Foi detectada divergência entre a capacidade de pressão da bomba de vácuo e a pressão especificada pelo fabricante do equipamento triaxial. Mantido o período de uma hora, conforme especificado pelo manual do produto, para a retirada das bolhas de ar, a água demonstrava sinais de não estar adequada para ensaios, uma vez que ainda eram visíveis muitas bolhas de ar. A recomendação do fabricante é que o máximo de pressão de vácuo fornecida ao painel de controle seja utilizada, de modo a manter o regulador de vácuo entre 0 e 14,7 psi (101 kPa). No entanto, a bomba de vácuo utilizada não foi capaz de ultrapassar a marca de 40 kPa.

Para garantir o desnível entre o reservatório de água deaerada e o painel de controle, foi necessário o auxílio de uma banquetta improvisada para apoiar o reservatório. Este desnível é necessário para que a água deaerada escoe para as buretas mediante diferença de carga hidráulica.

O local disponibilizado para a instalação definitiva do equipamento no Laboratório de Mecânica dos Solos da UTFPR-CM, encontra-se em desacordo com o que sugere o manual de instalação do produto, uma vez que o espaço para trabalhar com a câmara triaxial é bastante reduzido. O manual recomenda a livre circulação do operador ao redor do equipamento.

Um espaço para a instalação do computador à prensa foi também improvisado. O *software* foi ligado e detectou-se considerável lentidão no processamento durante seu funcionamento. As abas disponíveis foram abertas, porém não se pode afirmar se o computador e o *software* são capazes de processar um dos ensaios que o equipamento realiza, já que ensaios com corpos de prova de solos não foram realizados, pois ensaios desta natureza não fazem parte do escopo deste trabalho.

No decorrer dos testes, não se notou a falta de nenhuma peça ou acessório, tais como tubos, cabos, conexões rápidas, registros de pressão, dentre outros. Todas as especificações do manual foram realizadas. Avarias, tais como ferrugem, danos estruturais, roscas espanadas (desgastadas) não foram detectadas. Ao final de todos os procedimentos de montagem e testes restaram alguns conectores rápidos e alguns metros de tubulação que, certamente, são para eventuais reposições.

Após testar e analisar todas as partes que compõem o equipamento de realização de ensaios de compressão triaxial em posse da UTFPR-CM, é possível afirmar a parcial funcionalidade do mesmo. Destaca-se a necessidade de se adquirir uma bomba de vácuo de maior potência, exclusiva para o equipamento triaxial. Adicionalmente, recomenda-se a observação dos resultados de ensaios preliminares com solo, já que não foi realizada a calibração de nem uma instrumentação.

Assim, conclui-se que para a adequada instalação do equipamento para realização de ensaios de compressão triaxial em solos é necessária a obtenção de um espaço físico maior para a disposição de todo o conjunto de componentes que formam o equipamento. Além disto, é necessário também que o local onde o equipamento esteja instalado seja planejado para que não haja incidentes devido ao acesso irrestrito de pessoas não autorizadas.

Por meio de visitas realizadas a outros laboratórios nas proximidades da cidade de Campo Mourão, PR, como o da empresa Pedreira Itaipu, notou-se, também, aspectos relacionados ao controle da temperatura mediante uso de ar-condicionado, que segundo os laboratoristas consultados, pode interferir nos resultados obtidos dos ensaios. A relevância deste aspecto para este estudo se dá principalmente durante a preparação da amostra de solo a ser ensaiado.

Por fim, a partir dos testes realizados e da comprovada integridade dos componentes do equipamento, a disposição deste no laboratório não foi feita de forma definitiva. Outros aspectos importantes relacionados à instalação definitiva deste equipamento no laboratório poderão ser estudados e analisados em trabalhos futuros.

## 7 REFERÊNCIAS

ASTM, American Society for Testing and Materials. **Norma ASTM D4767-11**, Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.

ASTM, American Society for Testing and Materials. **Norma ASTM D5084-10**, Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.

ASTM, American Society for Testing and Materials. **Norma ASTM D2850-07**, Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007.

BISHOP, A. W, HENKEL, D.J, **Measurement of soil properties in the triaxial test**. 1<sup>a</sup> ed. E. Arnold, Londres, 1957.

CRAIG, R.F. **Craig**: Mecânica dos Solos. 7<sup>a</sup>. ed.. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Norma DNER 131/1994 - ME: Solos- determinação do módulo de resiliência. Rio de Janeiro, 1994.

GEORGETTI, G. B. **Resistência de um solo não saturado a partir de ensaios com teor de umidade constante (cw)**. 2010. 108 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2010.

G1, Vídeo mostra deslizamento de terra na região serrana do RJ. G1, Rio de Janeiro, 09/01/2012, Disponível em: <<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2012/01/video-mostra-deslizamento-de-terra-na-regiao-serrana-do-rj.html>>. Acesso em: 15/10/2016.

G1, Barragem se rompe, e enxurrada de lama destrói distrito de Mariana. G1, Rio de Janeiro, 05/11/2015, Disponível em: <<http://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2015/11/barragem-de-rejeitos-se-rompe-em-distrito-de-mariana.html>>. Acesso em: 15/10/2016.

HUMBOLDT MFG. CO, **Manual Humboldt FlexPanel HM-4150**. Elgin, Illinois, USA.

HUMBOLDT MFG. CO, **Manual Humboldt FlexPanel HM-3000**. Elgin, Illinois, USA.

JUNIOR, C.P., O que faz um engenheiro geotécnico? 10 de fev de 2015, Disponível em: <<https://blogdaengenhariacivil.wordpress.com/2015/02/10/o-que-faz-um-engenheiro-geotecnico/>>. Acesso em: 15/10/2016.

MACIEL, G. E. **Conservação de rodovias: estudos de caso nas rodovias federais da região de Campo Mourão-PR**. 2016. 90 f. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

MARANGON, M. Resistência ao Cisalhamento dos Solos. In: M. Marangon. *Mecânica dos Solos II*. 1. ed. Juiz de Fora: 2013. 124-149.

Mascarenha, M.M.A. Notas de Aula: Mecânica dos Solos. 2007. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA1i4AI/mecanica-dos-solos?part=3>> Acesso em 06/07/2017.

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. 3ª. ed.. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PIAA, Portal da Informação em Acesso Aberto da UTFPR, Disponível em <<https://portaldeinformacao.utfpr.edu.br/Search/Results?lookfor=campo+mour%C3%A3o%2C+estruturas&type=AllFields&limit=20&sort=relevance>>. Acesso em 27/05/2017.

SOARES, J.M.D.; PINHEIRO, R.J.B.; TAVARES, I.S. **Notas de Aula: Mecânica dos Solos**. Ed. Santa Maria: 2006.