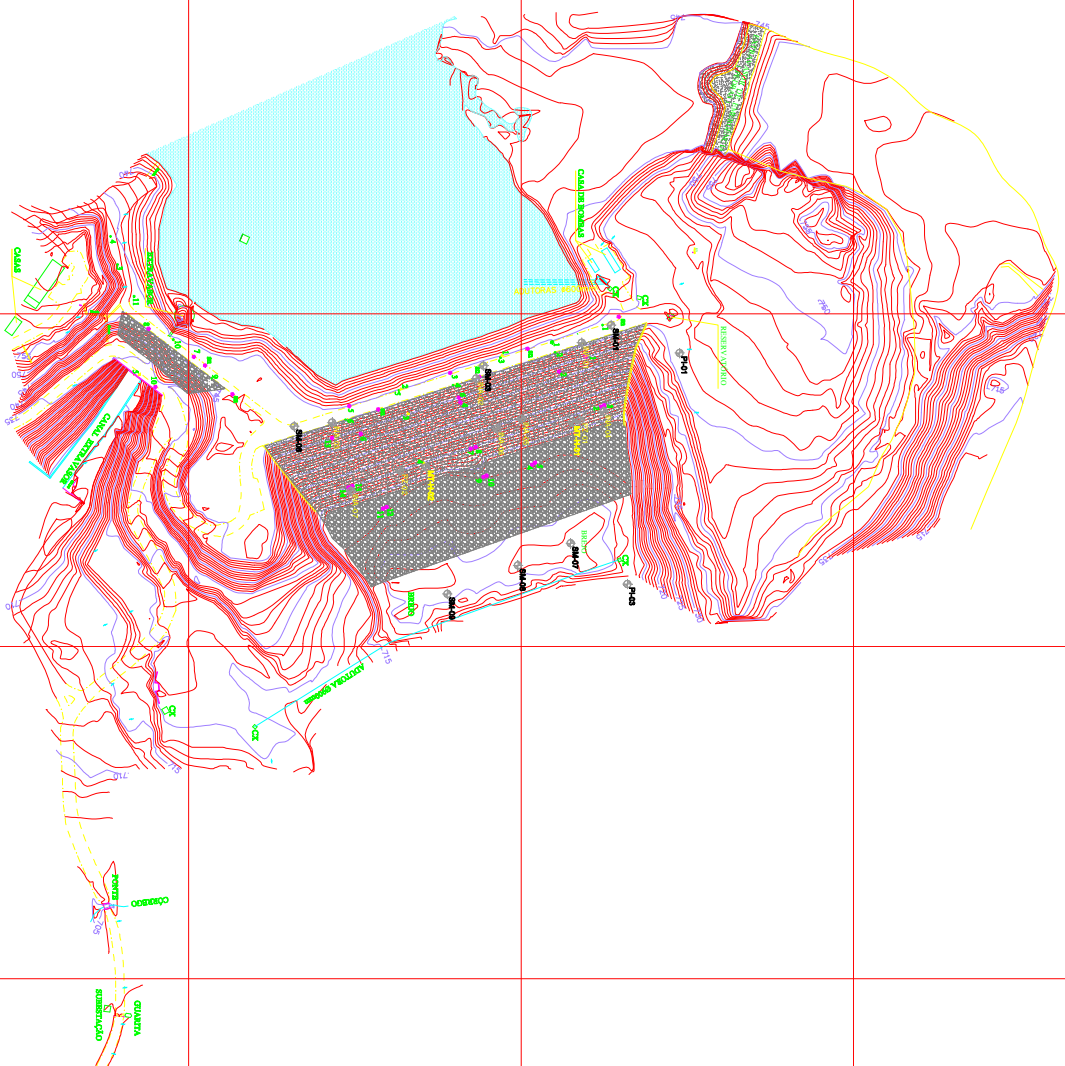
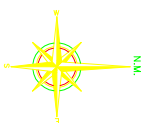


ANEXO I

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PARA
INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICAS E ENSAIOS
LABORATORIAIS A SEREM
REALIZADOS NAS BARRAGENS DE
CHAPÉU D'UVAS, DR. JOÃO PENIDO E
SÃO PEDRO

NOTAS



LEGENDA:



CESAMA
CA. DE GUBERNAMENTO MUNICIPAL

COMPANHIA DE SANEAMENTO MUNICIPAL



HENNEPIN COUNTY
 CONNECTING PEOPLE
 TO OPPORTUNITY

BARRAGEM CHAPÉU D'UVAS
SONDAGEM E INSTRUMENTAÇÃO PROPOSTA
LOCALIZAÇÃO
PLANTA BAIXA

COMPANHIA DE SANEAMENTO MUNICIPAL - CESAMA

PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM – PSB

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO- GEOTÉCNICAS E ENSAIOS LABORATORIAIS

BARRAGEM DE CHAPÉU D'UVAS

Nº Documento: HBR72-18-CSM-REL020			Nº Contrato/Lote: HBR72-18	
2	06/05/20	ADEQUAÇÃO DAS QUANTIDADES	HBR	VLV
1	21/01/19	APROVADO	HBR	VLV
0	30/11/18	EMIÇÃO INICIAL	HBR	VLV
Rev.	Data	Descrição da Revisão	Elaborado por	Aprovado por

ÍNDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>PÁGINA</u>
1	INTRODUÇÃO	3
2	ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DAS SONDAGENS.....	3
2.1	MARCOS DE DEFORMAÇÃO SUPERFICIAL	4
2.1.1	Critérios de paralisação do SPT e início da sondagem rotativa	4
2.2	SONDAGEM A PERCUSSÃO	5
2.2.1	Equipamentos.....	5
2.2.2	Procedimentos.....	6
2.2.3	Amostragem e SPT	7
2.2.4	Apresentação dos resultados	9
2.3	SONDAGEM ROTATIVA.....	10
2.3.1	Equipamentos.....	10
2.3.2	Procedimentos.....	10
2.3.3	Amostragem	11
2.3.4	Critérios de paralisação	12
2.3.5	Apresentação dos resultados	13
3	ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE CAMPO	14
3.1	ENSAIO DE INFILTRAÇÃO EM SOLO	14
3.1.1	Equipamentos.....	14
3.1.2	Procedimento.....	15
3.1.3	Apresentação dos resultados	15
3.2	ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA SOB PRESSÃO	16
3.2.1	Equipamentos.....	16
3.2.2	Ensaio de perda de carga.....	16
3.2.3	Trecho e pressão do ensaio de perda d'água	18
3.2.4	Procedimento.....	18
3.2.5	Apresentação dos resultados	19
4	ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DOS POÇOS DE INSPEÇÃO	19
5	AMOSTRAGEM.....	21
5.1	AMOSTRAS DEFORMADAS	21
5.2	AMOSTRAS INDEFORMADAS.....	22
6	ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS LABORATORIAIS	23
6.1	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	24
6.2	MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS	24
6.3	LIMITES DE ATTERBERG.....	24
6.4	MASSA ESPECÍFICA APARENTE.....	24
6.5	PERMEABILIDADE A CARGA VARIÁVEL	25
6.6	ADENSAMENTO EDOMÉTRICO.....	25
6.7	ENSAIO TRIAXIAL CIU_{sat}	25

1 INTRODUÇÃO

O presente documento descreve a programação e as especificações técnicas das investigações geológico-geotécnicas a serem realizadas na Barragem de Chapéu D'Uvas, de propriedade da Companhia de Saneamento Municipal (CESAMA) de Juiz de Fora/MG.

O plano proposto consiste na execução de sondagens mistas (SM), com previsão de ensaios SPT (Standard Penetration Test) nos trechos em solo, e ensaios de permeabilidade (infiltração em solo e perda d'água em rochas); além da abertura de poços de inspeção e coleta de amostras para realização de ensaios laboratoriais.

A finalidade das investigações é de caracterizar os materiais que compõem o aterro e fundação da estrutura, determinando os horizontes e perfis geológicos da área de estudo e fornecendo os parâmetros de resistência dos materiais. Dessa forma, com base nos resultados obtidos, será possível realizar uma avaliação geológico-geotécnica mais abrangente da Barragem de Chapéu D'Uvas.

2 ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DAS SONDAgens

As sondagens mistas e a realização dos ensaios de permeabilidade de campo devem ocorrer conforme especificado na Tabela 2-1.

Tabela 2-1 – Detalhamento das sondagens mistas

FURO	COORDENADAS		PROFUNDIDADE ESTIMADA (m) ¹	ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO (ESTIMADOS)	PROF. ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO ²
	E	N			
SM-01	652.508	7.612.817	45,0	6	A cada 10 m(maciço) A cada 5 m (fundação)
SM-03	652.538	7.612.721	65,0	9	A cada 10 m(maciço) A cada 5 m (fundação)
SM-06	652.584	7.612.579	45,0	6	A cada 10 m(maciço) A cada 5 m (fundação)
SM-07	652.672	7.612.787	20,0	4	A cada 5 m
SM-08	652.689	7.612.747	20,0	4	A cada 5 m
SM-09	652.710	7.612.694	20,0	4	A cada 5 m

Ressalta-se que, conforme detectado em visita de campo realizada à área de estudo por profissionais da HIDROBR, bem como consta no levantamento topográfico da estrutura, existe área de brejo a jusante da barragem. Dessa forma, deverá ser avaliado em campo, pela equipe de execução das investigações, a capacidade de suporte desse material para entrada dos equipamentos. Caso necessário, deverá ser criado um aterro (plataforma) sobre o brejo.

¹ Critério de paralisação: 5,0 m em rocha sã.

² Para as camadas de fundação, os ensaios de infiltração deverão ser realizados a cada 5,0m e/ou em profundidade inferior, quando houver mudança de camada.

2.1 MARCOS DE DEFORMAÇÃO SUPERFICIAL

A sondagem mista é a união ou alternância da sondagem a percussão com a sondagem rotativa, que permite a caracterização das camadas de solo pelo método de sondagem percussiva, com medidas de SPT e perfuração testemunhada do maciço rochoso pelo método de sondagem rotativa. Este tipo de sondagem é utilizado quando há uma cobertura de solo sobre o maciço rochoso no local onde será executada a sondagem rotativa. Neste caso, a perfuração inicia-se com a sondagem a percussão e quando a resistência do material atinge os critérios de paralisação de sondagem percussiva (item 2.1.1) antes da profundidade estimada para o furo, inicia-se então a perfuração com a sondagem rotativa.

A numeração indicada na Tabela 2-1 e no desenho de locação dos furos (HBR72-18-CSM-DWG001) deverá ser obedecida, porém a sondagem poderá ser relocada em função de interferências em campo, mas com a aprovação da Projetista e/ou Fiscalização. Quando for necessária a execução de mais de um furo num mesmo ponto de investigação, os furos subsequentes terão a mesma numeração do primeiro, acrescida das letras A, B, C, etc.

Os resultados finais de cada sondagem mista devem ser apresentados, num prazo máximo de 20 dias após o seu término, na forma de perfis individuais na escala 1:100, em papel A4, onde constem todos os dados levantados e a classificação geológica e geotécnica dos materiais atravessados, feita por geólogo ou engenheiro, cujo o nome e assinatura deverão constar no perfil.

O número de peças e a recuperação dos testemunhos devem constar na forma de gráficos com suas variações em profundidade.

Até 30 dias após o término do último furo da campanha programada, devem ser entregues, os seguintes documentos, que formarão o relatório final:

- a) Texto explicativo com critério de descrição das amostras, correções e interpretações adotadas nos testes executados, bem como outras informações de interesse e conhecimento da contratada, com nome e assinatura do responsável pela empresa de sondagem;
- b) Planta de localização das sondagens ou esboço com distâncias aproximadas e amarração.

2.1.1 Critérios de paralisação do SPT e início da sondagem rotativa

A Tabela 2-1 determina a profundidade prevista para a paralisação das sondagens mistas propostas. Para o trecho em solo (sondagem a percussão), o item 6.4 da Norma NBR 6484 (ABNT, 2001) condiciona a paralisação do furo antes da profundidade prevista devido aos critérios estabelecidos a seguir:

- Quando o processo de perfuração estiver sendo executado por Circulação de Água (CA):

- Quando, em 3 metros sucessivos, ocorrerem penetrações iguais a 30/15, ou seja, quando ocorrer 30 golpes para a penetração dos 15 cm iniciais do amostrador;
- Quando, em 4 metros sucessivos, ocorrerem penetrações iguais a 50/30, ou seja, quando ocorrer 50 golpes para a penetração dos 30 cm iniciais do amostrador;
- Quando, em 5 metros sucessivos, ocorrerem penetrações iguais a 50/45, ou seja, quando ocorrer 50 golpes para a penetração dos 45 cm do amostrador.
- A sondagem deve ser dada por encerrada quando, no ensaio de avanço da perfuração por circulação de água, forem obtidos avanços inferiores a 50 mm em cada período de 10 min ou quando, após a realização de quatro ensaios consecutivos, não for alcançada a profundidade de execução do SPT.
- Após o encerramento do processo de perfuração por trépano e circulação de água como indicado nos dois itens acima, a perfuração deve continuar com sondagem rotativa, conforme apresentado no item 2.3.
- Caso não haja avanço do amostrador durante a aplicação de 5 golpes sucessivos antes de se alcançar a profundidade estimada para atendimento do projeto, deve-se deslocar a sondagem no mínimo 2 vezes para posições diametralmente opostas, a 2 m da sondagem inicial.
- Caso a perfuração da sondagem mista pare em uma profundidade menor que a especificada (15,0 m), deverá ser iniciada a sondagens rotativa até 5,0 m de profundidade.

Os critérios de paralisação para o trecho em rocha são apresentados no item 2.3.4.

2.2 SONDAGEM A PERCUSSÃO

A sondagem a percussão é um procedimento geotécnico de campo capaz de amostrar o subsolo e, quando associada ao ensaio de penetração dinâmica (SPT), mede a resistência do solo ao longo da profundidade perfurada.

Os objetivos principais de uma sondagem a percussão associada a ensaios SPT são: conhecer a resistência e compressibilidade do solo a cada metro perfurado, natureza e tipo de solo por uma identificação tátil-visual através de retirada de amostra deformada; assim como a espessura das camadas e a posição do lençol freático.

2.2.1 Equipamentos

Os equipamentos e ferramentas são compostos pelos seguintes elementos principais:

- Tripé com roldana;

- Guincho mecânico ou moitão;
- Trado concha e helicoidal;
- Hastes e luvas de aço galvanizado;
- Alimentador de água;
- Cruzeta;
- Trépano e “T” de lavagem;
- Barriletes-amostradores e peças para cravação destes;
- Martelo com 65 kg e guia;
- Tubos de revestimentos;
- Torquímetro;
- Bomba d'água;
- Abraçadeiras para revestimento;
- Abaixadores e alçadores para hastes;
- Saca-tubos;
- Bomba-balde (baldinho com válvula de pé);
- Chaves de grifo;
- Metro ou Trena;
- Recipientes herméticos (tipo copo) para amostras;
- Sacos plásticos transparentes de alta resistência;
- Etiquetas para identificação;
- Medidor de nível d'água.

A empresa que irá executar as atividades deve fornecer equipamento para execução de sondagens de até 35 m de profundidade.

As hastes deverão ser de tubo reto de 1" de diâmetro interno, com roscas que permitam firme conexão com as luvas e peso de aproximadamente 3,0 kg por metro linear. As peças de avanço da sondagem deverão permitir a abertura de um furo com diâmetro mínimo de 2 1/2".

2.2.2 Procedimentos

Os procedimentos, a seguir, para a execução da sondagem a percussão e dos ensaios SPT são baseados na norma brasileira NBR 6484 (ABNT, 2001) Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. A execução da sondagem deve ser realizada da seguinte maneira:

- A sondagem deve ser iniciada após a limpeza da área que permita o desenvolvimento de todas as operações e a abertura de um sulco ao seu redor para desviar as águas de chuva;
- Junto ao local de execução devem ser cravados um piquete e uma estaca com a identificação da sondagem;
- A sondagem deve ser iniciada com emprego do trado-concha ou cavadeira manual até a profundidade de 1 m, seguindo-se a instalação até essa profundidade, do primeiro segmento do tubo de revestimento dotado de sapata cortante;
- Nas operações subsequentes de perfuração, intercaladas às de ensaio e amostragem, deve ser utilizado trado helicoidal até se atingir o nível d'água freático;
- Quando o avanço da perfuração com emprego do trado helicoidal for inferior a 50 mm após 10 min de operação ou no caso de solo não aderente ao trado, passa-se ao método de perfuração por circulação de água, também chamado de lavagem. Para tanto, é obrigatória a cravação de revestimento. Quando se realizar a lavagem, deve-se erguer o sistema de circulação de água a 30 cm a partir do fundo do furo. Durante sua queda livre, deve-se imprimir um movimento de rotação no hasteamento. Ao atingir a cota de ensaio e amostragem, a composição de perfuração deve ser suspensa a uma altura de 20 cm do fundo do furo, mantendo-se a circulação de água por tempo suficiente, até que todos os detritos da perfuração tenham sido removidos do interior do furo;
- Durante a operação de perfuração, devem ser anotadas as profundidades das transições de camadas detectadas por exame tátil-visual e da mudança de coloração de materiais trazidos à boca do furo pelo trado helicoidal ou pela água de circulação;
- Caso atinja o nível freático, anotar a profundidade do furo. Durante todas as operações da perfuração, deve-se manter o nível d'água no interior do furo, em cota igual ou superior ao do nível d'água do lençol freático encontrado e correspondente. Os níveis d'água devem ser medidos antes do início dos trabalhos, todos os dias e no dia seguinte à conclusão da sondagem;
- Antes de se retirar a composição de perfuração, com o trado helicoidal ou o trépano de lavagem apoiado no fundo do furo, deve ser feita uma marca na haste à altura da boca do revestimento, para que seja medida, com erro máximo de 10 mm, a profundidade em que se irá apoiar o amostrador na operação subsequente de ensaio e amostragem;
- Ao final da sondagem, o furo deve ser totalmente preenchido com solo ou solo-cimento, deixando-se cravada no local uma estaca com identificação da sondagem.

2.2.3 Amostragem e SPT

O ensaio SPT (Standard Penetration Test) consiste na cravação do barrilete-amostrador, através do impacto vertical de um martelo de 65 kg, caindo livremente de uma altura de 75 cm sobre a composição de hastes.

As amostras deverão ser representativas dos materiais atravessados e livres de contaminação. A cada metro de perfuração, a partir de 1 m de profundidade, devem ser colhidas amostras dos solos por meio do amostrador-padrão, com execução de SPT. Deve ser coletada, para exame posterior, uma parte representativa do solo colhido pelo trado-concha durante a perfuração, até 1 m de profundidade.

- a) As amostras a serem obtidas devem ser dos seguintes tipos: as amostras de barrilete-amostrador SPT, com cerca de 200 g, constituídas pela parte inferior do amostrador; as amostras de trado, com cerca de 500 g, constituídas por material obtido durante a perfuração e coletadas na parte inferior das lâminas do trado; as amostras de lavagem, com cerca de 500 g, obtidas pela decantação da água de circulação. As amostras coletadas devem ser acondicionadas em uma caixa de madeira;
- b) A cada ensaio de penetração, cerca de 100 g da amostra do barrilete devem ser imediatamente acondicionados em recipientes de vidro ou de plástico rígido e com tampa. Esta amostra deve ser identificada por duas etiquetas, sendo uma interna e outra colada na parte externa do recipiente e deve ter as seguintes informações: nome da obra e cliente, número da sondagem, número da amostra, profundidade, número de golpes e penetração do ensaio, data e o operador;
- c) O martelo para cravação deverá possuir uma haste-guia, onde a altura de 75 cm deve ser assinalada. O martelo deve ser erguido manualmente, com auxílio de corda e polias. Não será permitida a utilização de cabo de aço nesta operação. A queda do martelo deve ocorrer verticalmente, dissipando a menor energia possível;
- d) Apoiar o barrilete no fundo do furo, e conectar as hastes de modo que estejam firmes e retilíneas. Assinalar 3 trechos de 15 cm, referidos a um ponto fixo no terreno. Inicia-se a cravação do barrilete através da queda do martelo, onde cada queda do martelo corresponde a um golpe e devem ser anotados o número de golpes e a penetração em centímetros para a cravação de cada terço do barrilete; caso ocorram penetrações superiores a 15 cm, estas devem ser anotadas;
- e) A cravação do amostrador-padrão é interrompida antes dos 45 cm de penetração sempre que ocorrer uma das seguintes situações:
 - Em qualquer dos três segmentos de 15 cm, o número de golpes ultrapassar 30;
 - Um total de 50 golpes tiver sido aplicado durante toda a cravação; e
 - Não se observar avanço do amostrador-padrão durante a aplicação de cinco golpes sucessivos do martelo.

O ensaio de avanço da perfuração por circulação de água inicia-se quando o último item acima é atendido. O ensaio por circulação de água consiste no emprego do procedimento específico com duração de 30 min, devendo-se anotar os avanços do trépano em cada período de 10 min;

- f) O índice da resistência à penetração (N^{SPT}) corresponde ao número de golpes necessários à cravação dos 30 cm finais do barrilete-amostrador.

2.2.4 Apresentação dos resultados

A empresa de sondagem deve fornecer todas as informações de sondagem, quando solicitada pela Projetista ou pela CESAMA. Os resultados preliminares de cada sondagem percussiva devem ser apresentados num prazo máximo de 10 (dez) dias após seu término, em boletins, com três vias, onde constem:

- Nome da estrutura e do contratante;
- Identificação e localização do furo;
- Diâmetro da sondagem e método de perfuração;
- Cota e coordenadas;
- Data da execução;
- Nome do sondador e da firma;
- Tabela com leituras de nível d'água com: data, hora, nível d'água, profundidade do furo, profundidade do revestimento e observações sobre eventuais fugas de água, artesianismo, instalação de obturador, com sua cota, etc. No caso de não ter sido atingido o nível d'água, deverão constar no boletim as palavras "furo seco";
- Posição final do revestimento;
- Resultados dos ensaios de penetração SPT, com o número de golpes e avanço em centímetros para cada terço de penetração do amostrador;
- Resultados dos ensaios de lavagem, com o intervalo ensaiado, avanço em centímetros e tempo de operação da peça de lavagem;
- Resultados dos ensaios de permeabilidade (genericamente conhecido por ensaio de infiltração), quando realizados, com indicação do método utilizado, posição das extremidades superior e inferior do revestimento, profundidade do furo, diâmetro do revestimento e medidas de absorção d'água feitas a cada minuto, com respectiva unidade;
- Identificação das anomalias observadas e fenômenos importantes ocorridos durante a perfuração;
- Descrição sucinta dos materiais;
- Motivo da paralisação do furo;
- Visto do encarregado.

Os resultados finais de cada sondagem percussiva devem ser apresentados, num prazo máximo de 20 (vinte) dias após o seu término, na forma de perfis individuais na escala 1:100, em papel A4, onde constem todos os dados levantados e a classificação geológica e geotécnica dos materiais atravessados, feita por geólogo ou engenheiro, cujo o nome e assinatura deverão constar no perfil.

2.3 SONDAGEM ROTATIVA

A sondagem rotativa é destinada principalmente às investigações em rocha, embora esse método também seja usado para solos. A ferramenta de perfuração pode ser uma broca de corte ou uma broca (coroa) diamantada para a recuperação de testemunhos.

2.3.1 Equipamentos

Os equipamentos e ferramentas são compostos pelos seguintes elementos principais:

- Tripé com roldana;
- Sonda;
- Motor a combustão interna ou elétrico;
- Bomba de água;
- Guincho;
- Ferramentas;
- Tubo de revestimento;
- Coroa;
- Luvas alargadoras;
- Hastes;
- Barriletes;
- Retentores de testemunhos;
- Obturadores de borracha.

Além dos equipamentos supracitados, devem ser também providenciados os materiais exigidos para a sondagem a percussão, conforme relação descrita no item 2.2.1.

A utilização de barriletes simples e coroas de vidia será permitida ou solicitada pela fiscalização quando a porcentagem de recuperação e amostragem de materiais moles ou incoerentes não for considerada crítica.

2.3.2 Procedimentos

A seguir apresentam-se os procedimentos para este tipo de perfuração, tais como descritos no Manual de Sondagens/Boletim nº 3 (ABGE/2013). A execução da sondagem deve ser realizada da seguinte maneira:

- a) Em terreno seco, a sondagem deve ser iniciada após a limpeza de uma área que permita o desenvolvimento de todas as operações sem obstáculos e a abertura de um sulco ao redor, que desvie as águas de enxurradas, no caso de chuva. A sonda deve

- ser firmemente ancorada no terreno, de maneira a minimizar as vibrações e a consequente transmissão para a composição da sondagem;
- b) A sondagem rotativa pode ser iniciada após o encerramento do processo de perfuração por percussão quando se precise continuar com a investigação do subsolo;
 - c) Junto ao local onde será executada a sondagem, deve ser cravado um piquete com a identificação da sondagem, que servirá de ponto de referência para medidas de profundidade e para fins de amarração topográfica;
 - d) Devem ser empregados todos os recursos das sondagens rotativas, de maneira a assegurar a perfeita recuperação de todos os materiais atravessados. Os principais recursos são: escolha de equipamentos e acessórios apropriados às condições geológicas, realização de manobras curtas e adequação da velocidade de perfuração às características geológicas da rocha perfurada. Constituem elementos de interesse: o registro das características da sonda rotativa e da coluna de perfuração utilizadas, o tempo de realização das manobras, as características da coroa (quilatagem, pedras por quilate, tipo, tempo de uso, etc.), bem como a avaliação da pressão aplicada sobre a composição, sua velocidade de rotação, velocidade de avanço, pressão e vazão da água de circulação;
 - e) O diâmetro a ser utilizado pela sondagem rotativa deve ser o NW;
 - f) Caso a sondagem atinja o nível freático, a sua profundidade deve ser anotada. Se ocorrer artesianismo não-surgente, deve ser registrado o nível estático; no caso de artesianismo surgente, além do nível estático, devem ser medidas a vazão e o respectivo nível dinâmico. Os níveis d'água (estático/dinâmico) devem ser medidos todos os dias, antes do início dos trabalhos e na manhã seguinte à conclusão da sondagem; e
 - g) Após a última leitura de nível d'água, quando houver, ou após o encerramento da sondagem, o furo deve ser totalmente preenchido, deixando-se cravada no local uma estaca com a identificação da sondagem. O preenchimento deve ser feito com solo ou solo-cimento, ao longo de toda sua extensão.

2.3.3 Amostragem

Os procedimentos e amostragem para a execução da sondagem mista e dos ensaios SPT, estão apresentados nos itens 2.2.2 e 2.2.3, quando a perfuração for em solo; e no presente item, quando a perfuração for em rocha, tendo em conta que:

- a) No horizonte de solo, a sondagem percussiva deve ser feita com medidas de SPT a cada metro, até serem atingidos os critérios de paralisação definidos na Tabela 2-1, no item 2;
- b) A sondagem rotativa deve ser iniciada após o encerramento do processo de perfuração por percussão;
- c) A amostragem deve ser contínua e total, mesmo em materiais incoerentes ou muito fraturados, permitindo ao geólogo buscar informações geológicas de interesse à

- caracterização do maciço rochoso. Os testemunhos não devem se apresentar fraturados ou roletados pela ação mecânica do equipamento de sondagem;
- d) A relação entre a extensão do trecho perfurado e o comprimento total do testemunho obtido, conhecida como recuperação, deve ser calculada e expressa em porcentagem, não podendo ser inferior a 95% por manobra, exceto quando autorizado pela fiscalização. Para medir a recuperação, as partes do testemunho devem ser justapostas, recompondo-se, tanto quanto possível, a situação natural anterior à perfuração;
 - e) As operações de retirada das amostras do barrilete e de seu acondicionamento nas caixas devem ser feitas cuidadosamente, de maneira a serem mantidas as posições relativas dos testemunhos coletados. Caso seja necessário quebrar o testemunho para acondicioná-lo na caixa, o local da quebra deve ser assinalado por dois riscos paralelos, com tinta indelével, traçados transversalmente à quebra. As amostras devem ser acondicionadas em caixas de madeira aplainada ou de plástico;
 - f) As caixas devem ser feitas de madeira providas de tampa, com dobradiças. Na tampa e num dos lados menores da caixa, devem ser anotados, com tinta indelével, os seguintes dados: número do furo, nome da obra e cliente, local, número da caixa e o número de caixas do furo;
 - g) Os testemunhos devem ser colocados nas caixas, após cada manobra, iniciando-se pela canaleta adjacente às dobradiças, com a parte superior da manobra ao seu lado esquerdo. As amostras das manobras subsequentes devem ser colocadas na caixa, sempre guardando, na sequência crescente de profundidade das amostras, o andamento da esquerda para a direita, e da dobradiça para o outro lado da caixa;
 - h) As amostras de cada manobra devem ser separadas por um taco de madeira, afixado transversalmente na canaleta. Neste taco, deve ser escrita sua profundidade com caneta esferográfica ou tinta indelével. No último taco, colocado após a última manobra do furo, deve constar, além da profundidade final do furo, a palavra “fim”;
 - i) No caso de ser empregado, no início do furo ou num determinado intervalo, avanço de sondagem pelo processo a percussão, as amostras assim coletadas devem ser acondicionadas na mesma caixa de amostra da sondagem rotativa, segundo a sequência de sua obtenção;
 - j) As caixas de amostras devem permanecer guardadas à sombra, em local ventilado, até o final da sondagem;
 - k) Quando, no avanço da sondagem rotativa, ocorrer mais de 50 cm de material mole ou incoerente, deve ser executado ensaio de penetração SPT, seguido de outros a intervalos de 1 m, até serem atingidos os critérios de paralisação definidos no subitem 2.1.1;
 - l) Os ensaios de infiltração e perda d'água a serem realizados, devem seguir as especificações dadas nos itens 3.1 e 3.2.

2.3.4 Critérios de paralisação

As sondagens rotativas devem ser paralisadas quando atingirem o limite disposto na Tabela 2-1.

2.3.5 Apresentação dos resultados

A empresa de sondagem deve fornecer todas as informações de sondagem, quando solicitada pela Projetista ou pela CESAMA. Os resultados preliminares de cada sondagem mista devem ser apresentados num prazo máximo de 15 dias após seu término, em boletins, com três vias, onde constem:

- Nome da estrutura e do contratante;
- Identificação e localização do furo;
- Diâmetro da sondagem e método de perfuração;
- Cota e coordenadas;
- Data da execução;
- Nome do sondador e da firma;
- Tabela com leituras de nível d'água com: data, hora, nível d'água, profundidade do furo, profundidade do revestimento e observações sobre eventuais fugas de água, artesianismo, instalação de obturador, com sua cota, etc. No caso de não ter sido atingido o nível d'água, deverão constar no boletim as palavras "furo seco";
- Posição final do revestimento;
- Resultados dos ensaios de penetração SPT, com o número de golpes e avanço em centímetros para cada terço de penetração do amostrador;
- Resultados dos ensaios de lavagem, com o intervalo ensaiado, avanço em centímetros e tempo de operação da peça de lavagem;
- Resultados dos ensaios de permeabilidade (genericamente conhecido por ensaio de infiltração), quando realizados, com indicação do método utilizado, posição das extremidades superior e inferior do revestimento, profundidade do furo, diâmetro do revestimento e medidas de absorção d'água feitas a cada minuto, com respectiva unidade;
- Identificação das anomalias observadas e fenômenos importantes ocorridos durante a perfuração;
- Descrição sucinta dos materiais;
- Motivo da paralisação do furo;
- Visto do encarregado.

3 ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE CAMPO

3.1 ENSAIO DE INFILTRAÇÃO EM SOLO

Comumente assim denominados, são ensaios de permeabilidade executados em furos de sondagem cuja finalidade é a determinação do coeficiente de permeabilidade do solo.

Os ensaios de permeabilidade em furos de sondagens consistem na medida da vazão absorvida ou retirada, em função da aplicação de uma carga ou descarga, respectivamente. As cargas são diferenciais de pressão, induzidas por colunas de água, resultantes de injeção d'água no furo; as descargas são diferenciais de pressão provocadas por retirada de água do furo. Nesta especificação somente serão explicitados os ensaios por injeção de água.

Provocando-se carga no furo, podem ser realizados dois tipos de ensaios:

- Ensaio de infiltração, também denominado infiltração a nível constante – mantém-se a carga constante, medindo a vazão necessária para mantê-la;
- Ensaio de rebaixamento, também denominado infiltração a nível variável – estabelece-se uma coluna d'água inicial, interrompe-se a introdução da água e acompanha-se, no tempo, o rebaixamento do nível d'água.

3.1.1 Equipamentos

Os equipamentos e ferramentas necessários à execução dos ensaios de infiltração são:

- Bomba de água com capacidade mínima de 40 L/min;
- Hidrômetro, em boas condições, com divisões de escala em litros, testado no início de cada furo e sempre que houver suspeita de mau funcionamento. O hidrômetro não deve apresentar desvio superior a 10% do valor real na faixa de vazão entre 10 e 40 L/min. É vedado o uso de curvas de calibração;
- Tambor graduado em litros com capacidade de aproximadamente 200 Litros;
- Provetas ou latas graduadas a cada 50 centímetros cúbicos, com capacidade mínima de 1 Litro;
- Funil com rosca para acompanhamento no revestimento com redução mínima de 1 polegada e diâmetro maior de, no mínimo, 20 centímetros;
- Escarificador constituído por uma haste decimétrica de madeira ou de metal, com numerosos pregos sem cabeça, semicravados;
- Medidor de nível d'água.

3.1.2 Procedimento

- a) A execução do ensaio de permeabilidade e de SPT num mesmo trecho deve ser limitada aos horizontes abaixo do nível d'água, ou onde o avanço da sondagem for feito pelo método da lavagem. Ensaio de infiltração acima do nível d'água devem ser feitos em um novo furo, deslocado de 3 m em relação ao primeiro;
- b) A parede do furo no horizonte do solo a ser ensaiado deve ser desobstruída por raspagem com o escarificador;
- c) O revestimento deve ser posicionado até um mínimo de 100 cm acima do nível do terreno. Enche-se o furo com água até a boca, tomando-se este instante como tempo zero;
- d) Devem ser realizados ensaios de infiltração durante a execução das sondagens mistas, conforme especificado na Tabela 2-1. Os ensaios de infiltração devem ser iniciados a partir 1 m da superfície, sempre que se estiver em material de saprolito;
- e) Deve ser feito ensaio de rebaixamento quando a carga hidráulica, no trecho ensaiado, for superior a 0,2 kgf/cm² ou 0,02 Mpa (2,0 m de coluna d'água) e, por avaliação visual, o rebaixamento da água no tubo de revestimento for inferior a 10,0 cm/min;
- f) O ensaio de rebaixamento será feito através da medida do nível d'água dentro do revestimento, a intervalos de tempo curtos no início e mais longos em seguida (por exemplo, 15 s, 30 s, 1 min, 2 min, 3 min, 4 min, 5 min, etc.). As medidas de rebaixamento devem ser iniciadas após a manutenção do tubo de revestimento cheio de água até a boca, durante 10 min, no mínimo;
- g) O ensaio de rebaixamento deve ser concluído quando o rebaixamento atingir 20% da carga inicial aplicada ou após 30 min de ensaio;
- h) O ensaio de infiltração consiste na medida da absorção d'água estabilizada a cada minuto, durante 10 minutos. O nível de água deve ser mantido constante, medindo-se o volume de água introduzido durante esse tempo;
- i) As medidas de absorção d'água no ensaio de infiltração devem ser feitas com hidrômetros acoplados à canalização da bomba, quando forem superiores a 10 L/min.; com proveta graduada, quando forem inferiores a 1 L/min; e com tambor graduado, em casos intermediários;
- j) A empresa executora do ensaio deve fornecer o registro completo das informações necessárias ao cálculo do coeficiente de permeabilidade, tais como: vazão, nível d'água, diâmetro e profundidade do furo, comprimento do trecho de ensaio, etc.

3.1.3 Apresentação dos resultados

Os resultados dos ensaios devem ser apresentados no mesmo perfil da Sondagem Mista. Devem ser apresentados em valores numéricos: a pressão efetiva em kg/cm², da absorção em L/min.m e da perda d'água específica em L/min.m/kg/cm², assinalados em três colunas justapostas, limitadas acima e abaixo por linhas horizontais na posição dos limites do intervalo ensaiado. O coeficiente de permeabilidade do solo (k) será dado em cm/s.

3.2 ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA SOB PRESSÃO

O ensaio de perda d'água sob pressão será realizado em maciços rochosos através de furos de sondagem, visando medir a permeabilidade desses maciços frente à percolação de água através de suas fissuras. Consiste na medida de água absorvida pelo maciço durante determinado tempo, a uma dada pressão de injeção. O ensaio deverá ser realizado para vários estágios de pressão. O procedimento é baseado no Boletim nº 03 da ABGE – Manual de Sondagens.

3.2.1 Equipamentos

- Bomba de água com capacidade de vazão de 120 L/min, a uma pressão de 1 Mpa. A critério da fiscalização, poderá ser utilizada uma bomba com capacidade de vazão de 60 L/min, caso as absorções sejam compatíveis com estas vazões;
- Hidrômetro com divisões de escala em litros. Deve ser sensível para detectar uma vazão mínima de 3L/min. A capacidade nominal do hidrômetro deve ser de 3 ou 5 m³/h para vazões até 60 L/min e 7 m³/h para vazões entre 60 a 120 L/min;
- Manômetro com capacidade e divisões de escala adequadas às pressões a serem aplicadas. A máxima pressão de operação deve ser 75% do valor máximo da escala do manômetro;
- Obturador de borracha tipo pneumático ou mecânico simples. O comprimento mínimo deve ser de 30 cm, e o diâmetro externo deve ser 5 mm menor que o furo para obturadores mecânicos e apresentar comprimento mínimo de 60 cm para obturadores pneumáticos;
- Canalização, mangueira, luvas e cotovelos em boas condições, com luvas e estanques e diâmetro mínimo de 25, 4 mm (1");
- Estabilizadores de pressão;
- Transdutores de pressão.

3.2.2 Ensaio de perda de carga

O ensaio de perda de carga consiste numa simulação, em superfície, do ensaio de perda d'água. Este ensaio tem por objetivo a determinação da perda de pressão provocada pelo atrito da água com as paredes da tubulação. Será feito um ensaio a cada campanha de sondagem, onde serão medidas a pressão e a vazão em estágios de aproximadamente 10, 20, 40 e 60 l/min., para comprimento de tubulação de L, 3/4 L e ½ L.

Com os resultados obtidos, deverá ser construído um ábaco relacionando vazão, comprimento da tubulação e perda de carga, que será utilizado na correção da pressão, efetivamente aplicada no trecho do furo ensaiado por perda d'água.

O problema da perda de carga pode ser eliminado com a utilização de um transdutor posicionado no trecho do ensaio. Neste caso não há necessidade de realizar o ensaio de perda de carga. Ressalta-se que o transdutor registra toda a pressão a que está submetido. Portanto, para a determinação da pressão efetiva de ensaio, dever ser subtraída a pressão correspondente ao nível d'água ou piezômetro, isso quando o trecho do ensaio estiver na porção saturada do maciço.

3.2.3 Trecho e pressão do ensaio de perda d'água

Os ensaios deverão ser executados à medida que ocorrerem os avanços da sondagem, em trechos de aproximadamente 3,0 m de comprimento, a contar do início da efetiva utilização do processo rotativo.

A fiscalização poderá solicitar a execução de ensaios adicionais em trechos de diferentes comprimentos, tanto na porção final da sondagem como acima dela. Neste caso deverá ser empregado obturador duplo.

As pressões do ensaio serão aplicadas num ciclo de 5 estágios, a saber: pressão mínima, pressão intermediária, pressão máxima, pressão intermediária e pressão mínima. As pressões em cada estágio deverão obedecer aos seguintes critérios:

- Pressão máxima: 0,25 kg/cm² por metro de profundidade, na vertical, a contar da boca do furo até a metade do trecho ensaiado. No caso de rocha friável ou muito alterada, será usado 0,15 kg/cm²/m;
- Pressão intermediária: igual à metade da pressão máxima;
- Pressão mínima: igual à pressão exercida por uma coluna d'água interna à tubulação do obturador, de aproximadamente 1,0 m de altura acima da boca do furo.

As pressões máximas e intermediárias deverão ter seus valores arredondados até a divisão mais próxima do manômetro.

3.2.4 Procedimento

Inicialmente, deverá ser realizada uma lavagem cuidadosa do furo até que a água de circulação se apresente limpa e isenta de detritos. Terminada a limpeza, deverá ser instalado o obturador do tipo conveniente, com a extremidade inferior da porção vedante no limite superior do trecho a ser ensaiado. Não deverá ser aplicada pressão no furo antes do início do ensaio.

A técnica de ensaio com obturador duplo não deverá ser empregada como alternativa de ensaio com obturador simples. O seu emprego deverá ser restrito às situações em que forem necessários ensaios complementares em trechos acima da posição do fundo do furo.

Ao ser aplicada a pressão mínima do primeiro estágio, deverá ser avaliada a eficiência da vedação do obturador, através da medida do nível d'água no furo, que geralmente sobe quando o obturador não está vedando. Se exequível, para facilitar esta observação, recomenda-se o enchimento do furo com água até a boca do revestimento após a instalação do obturador. Em caso de impossibilidade de vedação devido ao fraturamento da rocha ao redor do trecho de aplicação do obturador, deverão ser utilizados obturadores de maior comprimento. Persistindo a impossibilidade de vedação, o obturador deverá ser deslocado para cima, até nova posição onde a vedação for eficiente.

Assegurada a vedação do trecho, será iniciada a aplicação dos estágios de pressão. A pressão mínima do 1º e 5º estágios será obtida pela manutenção da coluna d'água na tubulação do obturador (nos moldes do ensaio de infiltração), e as demais pressões serão dadas pela bomba d'água. Em cada estágio, após a estabilização dos valores de pressão e vazão, deverão ser feitas 10 medidas de seus valores em intervalos de 1 minuto.

Entende-se que os valores de absorção d'água e pressão estarão estabilizados quando:

- Não for observada uma variação progressiva nos valores medidos;
- A diferença entre as leituras e o seu valor médio for inferior a 20% do valor médio;
- A oscilação da pressão manométrica não exceder a 10% do valor da pressão manométrica de ensaio.

Na fase decrescente do ciclo de pressão, se ocorrer retorno da água injetada, a tubulação deverá ser aberta, e serão anotados os seguintes valores:

- Volume total de água retornada até o total alívio de pressão de água no trecho ensaiado;
- Pressão aplicada no trecho.

Para a medida do volume de água retornada, poderá ser utilizado o próprio hidrômetro, com conexão invertida para garantir seu perfeito funcionamento, ou tambor de volume conhecido. Após as medidas do volume retornado, o ensaio deverá ser retomado a partir do estágio subsequente àquele que deu origem ao retorno da água. Quando, mesmo com a vazão máxima da bomba, não for atingido o valor da pressão de qualquer um dos estágios, deverão ser feitas leituras dos valores de pressão e vazão atingidos, durante 10 minutos, a cada minuto. Além do registro deste caso de absorção total da vazão da bomba, deverão ser executados e registrados os demais estágios com pressão inferior ao daquela cuja pressão não foi atingida.

3.2.5 Apresentação dos resultados

Os resultados dos ensaios deverão ser apresentados no mesmo perfil da sondagem mista. Deverão conter, em valores numéricos: a pressão efetiva em kg/cm^2 , a absorção em L/min.m e a perda d'água específica em L/min.m/kg/cm^2 , assinalados em três colunas justapostas, limitadas acima e abaixo por linhas horizontais na posição dos limites do intervalo ensaiado. O coeficiente de permeabilidade do solo (k) será dado em cm/s .

4 ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DOS POÇOS DE INSPEÇÃO

O poço de investigação é uma escavação vertical de seção circular ou quadrada, com dimensões mínimas suficientes para permitir o acesso de um observador, visando a inspeção das paredes e fundo, e a retirada de amostras representativas deformadas e indeformadas. A amostra deformada é extraída por raspagem ou escavação, implicando na destruição da

estrutura e na alteração das condições de compactidade ou consistência naturais. Por sua vez, a amostra indeformada deve ser extraída com o mínimo de perturbação, procurando manter sua estrutura e condições naturais.

A Norma NBR 9604 (ABNT, 1986) prescreve os procedimentos para escavação do poço, bem como para a retirada das amostras deformadas e indeformadas, descritos a seguir.

- a) A escavação deve ser iniciada após a limpeza superficial do terreno em área delimitada por um quadrado de 4,0 m de lado e da construção de uma cerca no perímetro da área limpa. A fim de se evitar a entrada de água no poço, deve ser aberto um sulco para drenagem ao redor da área cercada. As dimensões do poço devem ter 1,0 m de lado e a profundidade prevista para os estudos está especificada na Tabela 4-1;
- b) À mesma profundidade de coleta da amostra indeformada, coletar amostra deformada com 30 Kg por cada poço;
- c) A escavação pode ser executada com picareta, enxada e pá e deve prosseguir normalmente até atingir a profundidade de 1,5 m. No caso de serem detectados quaisquer indícios de instabilidade, deve ser imediatamente providenciado um escoramento adequado;
- d) Caso atingir o nível d'água, interromper a operação de escavação, registrar a sua profundidade e passa-se a observar a elevação do nível d'água durante um período de 30 minutos;
- e) No final de cada jornada de trabalho, a boca do poço deve ser coberta por uma tampa, que impeça a entrada de animais e águas pluviais. Após a conclusão dos serviços, o poço deve ser totalmente preenchido com solo e demarcado com um piquete a marcação do Poço. A identificação do poço deve obedecer aos critérios da Tabela 4-1.

Tabela 4-1 – Detalhamento dos poços de inspeção

FURO	COORDENADAS		PROF. (m)
	E	N	
PI-01	652.529	7.612.869	1,50
PI-03	652.703	7.612.829	1,50

Os poços programados deverão ser executados no terreno natural, sendo 2 na região das ombreiras e 1 a jusante da barragem. Caso sejam detectadas interferências em campo, a locação do poço poderá ser relocada, mas com a aprovação da Projetista e/ou Fiscalização.

Ressalta-se que, conforme detectado em visita de campo realizada à área de estudo por profissionais da HIDROBR, bem como consta no levantamento topográfico da estrutura, existe área de brejo a jusante da barragem. Caso necessário, a localização do poço PI-03 poderá ser ajustada em campo, de modo que o bloco retirado não seja constituído por material do brejo.

O item 5.1.14 da NBR 9604 (ABNT, 1986) considera o poço de investigação concluído, dadas as seguintes condições:

- Quando atingir a profundidade prevista pela programação dos trabalhos (ver Tabela 4-1);
- Quando houver insegurança para a continuidade dos trabalhos;
- Quando ocorrer infiltração acentuada de água que torne pouco produtiva a escavação e não for imprescindível sua continuidade;
- Quando ocorrer, no fundo do poço, material não escavável por processos manuais.

5 AMOSTRAGEM

A coleta de amostras deformadas e indeformadas deve ocorrer conforme exposto na Tabela 5-1.

Tabela 5-1 – Detalhamento da coleta de amostras

FURO	AMOSTRAS DEFORMADAS		AMOSTRAS INDEFORMADAS		AMOSTRAS INDEFORMADAS - DENISON	
	QUANTI-DADE	PROF. ESTIMADA (m)	QUANTI-DADE	PROF. ESTIMADA (m)	QUANTI-DADE	PROF. ESTIMADA (m)
SM-03 ³	3	15,0 / 50,0 / 55,0	-	-	3	15,0 / 50,0 / 55,0
SM-07 ⁴	2	8,0 / 15,0	-	-	2	8,0 / 15,0
PI-01	1	1,5	1	1,5	-	-
PI-03	1	1,5	1	1,5	-	-

5.1 AMOSTRAS DEFORMADAS

As amostras deformadas são aquelas extraídas por raspagem ou escavação, ou através da coleta do material proveniente da sondagem, o que implica na destruição da estrutura e na alteração das condições de compactidade ou consistência naturais do material.

As amostras deformadas coletadas nas sondagens devem obedecer ao estabelecido na Tabela 5-1e aos critérios apresentados no item 2.2.3, acondicionadas em sacos de lona ou plástico resistente em quantidade não menor de 30 kg. Para estas amostras deve-se ter:

- Identificação por duas etiquetas de papel, envolvidas por um plástico ou uma camada plástica, uma externa e outra interna ao recipiente de amostragem, contendo:

³ Para os furos SM-03 e SM-05, deverão ser coletadas 1 amostra do material de aterro da barragem e 2 amostras de camadas da fundação. Caso necessário, as profundidades de coleta poderão ser alteradas de modo a atender a esse critério.

⁴ As 2 amostras a serem coletadas no furo SM-07 não deverão ser constituídas pelo material aluvionar (brejo). Caso necessário, as profundidades poderão ser alteradas de modo a atender a esse critério.

- Nome da obra e cliente;
- Nome do local;
- Número do poço ou trincheira;
- Intervalo de profundidade da amostra; e
- Data de coleta.

5.2 AMOSTRAS INDEFORMADAS

Amostras indeformadas são aquelas extraídas com o mínimo de perturbação possível, de modo a preservar as estruturas, condições de umidade, compactidade e consistência naturais do material e deve seguir as seguintes recomendações.

POÇOS

- Em cada poço coletar 01 bloco de amostra indeformada de formato cúbico com as dimensões de 30 cm x 30 cm x 30 cm (acondicionados e sem perturbações). Os poços devem ter profundidades de 1,5 m;
- A partir de 0,10 m acima da profundidade prevista para a moldagem do bloco, a escavação deve ser cuidadosa. Atingida a cota de topo do bloco, deve ser iniciada a talhagem lateral do mesmo, nas dimensões previstas, até 0,10 m abaixo de sua base, sem seccioná-lo;
- As faces expostas do bloco devem ser envolvidas com talagarça ou similar e deve ser aplicada uma camada de parafina líquida; a operação deve ser repetida, mais duas vezes. A base do bloco é então seccionada e regularizada até as dimensões previstas, cobrindo-a com talagarça ou similar e parafina líquida;
- O bloco deve ser levado, cuidadosamente, à superfície do terreno e colocado em uma caixa cúbica de madeira (ou outro material de rigidez similar), com dimensão interna 6 cm maior que o lado do bloco e com seis faces aparafusáveis. O fundo da caixa deve conter uma camada de 3 cm de serragem úmida, bem como preenchidos com este material, os demais espaços entre o bloco e a caixa;
- Deve ser obrigatoriamente identificada a parte superior e a parte inferior de cada bloco na caixa de madeira e na parafina seca com as palavras “Topo” e “Base” a ser transportada com tinta indelével;
- O bloco deve ser transportado ao laboratório com o topo para cima, no menor intervalo de tempo, evitando-se impactos e vibrações excessivas.

DENISON

- Os procedimentos a serem seguidos na coleta das amostras indeformadas em barrilete especial tipo Denison devem seguir o exposto no Procedimento DNER-PRO-002/94;

- A perfuração deve estar isenta de material solo e o solo a ser coletado não pode ser afetado pela operação de limpeza do furo. A parede íntera do tubo onde se alojará a amostra deve ser untada com óleo ou graxa, para facilitar a sua extração no laboratório;
- A amostra deve ser cortada sempre com comprimento 5 cm menor que o da camisa;
- As amostras devem ser devidamente identificadas.

A responsabilidade de transporte das amostras ao laboratório, tanto deformadas quanto indeformadas, será da CESAMA.

6 ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS LABORATORIAIS

Os ensaios laboratoriais programados para subsidiar a avaliação da Barragem Chapéu D'Uvas deverão ser realizados conforme preconizado nas normas brasileiras em vigor ou normas e referências internacionais semelhantes.

Para as amostras coletadas, os ensaios previstos são:

- | | |
|---|-----------------------|
| • Granulometria por peneiramento e sedimentação | NBR 7181 |
| • Massa Específica real dos grãos | NBR 6508 |
| • Limites de Liquidez | NBR 6459 |
| • Limite de Plasticidade | NBR 7180 |
| • Massa Específica aparente | NBR 10838 |
| • Permeabilidade | NBR 14545 / NBR 13292 |
| • Adensamento Edométrico Unidimensional | NBR 12007 |
| • Ensaio Triaxial CIUsat | ASTM D4767 |

As quantidades estão expressas na Tabela 6-1

Tabela 6-1 – Detalhamento dos ensaios de laboratório

Furo	Granulometria completa	Massa esp. real dos grãos	Limites Atterberg	Massa específica aparente	Permeabilidade	Adensamento	Triaxial CIUsat ⁵
SM-02	1	1	1	1	1	-	1

⁵ Cada ensaio triaxial será realizado com 04 CPs, com tensões de confinamento de 75 kPa, 150 kPa, 300 kPa e 600 kPa.

Furo	Granulometria completa	Massa esp. real dos grãos	Limites Atterberg	Massa específica aparente	Permeabilidade	Adensamento	Triaxial CIUsat ⁵
SM-03	3	3	3	3	3	2 ⁶	3
SM-05	3	3	3	3	3	2 ⁶	3
SM-07	2	2	2	2	2	2	2
PI-01	1	1	1	1	1	1	1
PI-02	1	1	1	1	1	1	1
PI-03	1	1	1	1	1	1	1

6.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Os resultados a serem entregues pelo laboratório deve conter a curva granulométrica em um gráfico semi-logarítmico entre o diâmetro dos grãos e a porcentagem de material passante acumulado nas peneiras; uma tabela com os diâmetros das peneiras e as respectivas porcentagens retidas e retidas acumuladas da amostra; bem como uma tabela com os dados do processo de sedimentação.

6.2 MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS

O valor final da massa específica, média obtida pelos ensaios realizados, deve ser expresso com três algarismos significativos, e, além dele, outros dados devem ser apresentados pelo laboratório, como por exemplo, a temperatura da água, a fórmula utilizada na determinação da massa específica, as massas do picnômetro, do picnômetro com água, e do picnômetro com água e com solo.

6.3 LIMITES DE ATTERBERG

Os resultados apresentados pelo laboratório devem conter os valores dos limites de plasticidade e de liquidez, expressos em porcentagem, aproximados para o número inteiro mais próximo; o valor do índice de plasticidade; o gráfico do limite de liquidez (umidade versus número de golpes); e uma foto do material ensaiado, caso o mesmo tenha sido considerado não plástico.

6.4 MASSA ESPECÍFICA APARENTE

⁶ Os ensaios de adensamento deverão ser executados para as amostras coletadas das camadas de fundação.

A massa específica aparente natural do solo deve ser expressa com três algarismos significativos, em g/cm^3 , e o teor de umidade do solo, com aproximação de 0,1%.

6.5 PERMEABILIDADE A CARGA VARIÁVEL

Os resultados deverão apresentar: o coeficiente de permeabilidade $K_{\text{médio}}$, referente à temperatura da água na realização do ensaio; o coeficiente de permeabilidade $K_{20^\circ\text{C}}$ médio, referente à temperatura de 20°C , ambos expressos de forma exponencial e em cm/s ; as características geométricas do corpo de prova e do permeâmetro utilizado; os índices físicos da amostra; o volume de água percolado; e a variação da altura do corpo de prova, do $K_{20^\circ\text{C}}$, e do K para os vários instantes em que forem efetuadas as medidas.

6.6 ADENSAMENTO EDOMÉTRICO

Os corpos de prova deverão ser ensaiados para as amostras selecionadas da área da fundação. Os materiais de fundação deverão ser talhados diretamente a partir do bloco, na direção topo-base.

Cada corpo de prova deverá ser submetido a 13 estágios de carregamento e descarregamento, sendo as pressões especificadas: 6,25 / 12,5 / 25 / 50 / 100 / 200 / 400 / 800 / 1600 kPa, para carregamento; e 1600 / 800 / 400 / 200 kPa, para descarregamento. Cada aplicação de incremento de carga deverá ocorrer em um intervalo de tempo não superior a dois segundos e sem impacto significativo.

A inundação do corpo de prova deverá ocorrer desde a primeira etapa de carregamento. Recomenda-se deixar o corpo de prova inundado pelo menos 24 horas antes de iniciar o ensaio, para assegurar um alto grau de saturação. Os resultados conterão uma curva semi-logarítmica do índice de vazios versus pressão, indicando o índice de vazios inicial, a pressão de pré-adensamento, o índice de compressão e descarregamento, a condição do ensaio (sem inundação ou inundado), a curva do coeficiente de adensamento (C_v) em função do logaritmo da pressão média no estágio e a curva logaritmo do coeficiente de permeabilidade em função do índice de vazios. Deverá ser apresentada também a curva de deslocamento (altura do corpo de prova) vs logaritmo do tempo para cálculo de C_v pelo método de Casagrande em cada estágio ou a curva deslocamento vs raiz do tempo para cálculo de C_v pelo método de Taylor em cada estágio, as características geométricas da amostra e do anel de adensamento, os índices físicos da amostra iniciais e finais, bem como uma tabela com as variações de pressão, de altura do corpo de prova, do índice de vazios, t_{90} ou t_{50} , dependendo do método de cálculo de C_v e dos coeficientes de variação volumétrica (mv), de compressibilidade (av), de adensamento (C_v) e de permeabilidade (k). Os procedimentos do ensaio devem atender o preconizado na norma NBR 12007.

6.7 ENSAIO TRIAXIAL CIU_{sat}

Para o ensaio triaxial CIU , recomenda-se seguir a norma internacional ASTM D4767. Devem ser ensaiados 04 corpos de prova (CPs) sob as tensões confinantes de 75, 150, 300 e 600 kPa para definir a envoltória de resistência.

Para o ensaio realizado com as amostras indeformadas, os corpos de prova deverão ser talhados na direção vertical (topo-base) e apresentar, no mínimo 35 mm de diâmetro.

Os corpos de prova devem ter 35 mm ou 50 mm de diâmetro e altura de 2,0 a 2,5 vezes o diâmetro, considerando que a maior partícula deve ser menor que 1/6 do diâmetro do corpo de prova.

Os corpos de prova deverão ser montados nas células de compressão triaxial ficando entre pedras porosas de areia ou de latão fervidas e escovadas no topo e na base e papel filtro antes de cada ensaio, conectados com dispositivos de drenagem, medidores de pressão neutra e aplicação de contrapressão na base. Os corpos de prova deverão ser submetidos à saturação por percolação e por contrapressão.

A saturação por percolação é feita por meio de uma coluna d'água de 2 m de altura preferencialmente, dependendo da rigidez do corpo de prova. A percolação deve ser no sentido da base para o topo, de modo a eliminar ou diminuir o volume de ar contido nos vazios e elevar o grau de saturação.

Já para a saturação por contrapressão, o incremento inicial deve ser da ordem de até 0,50 kgf/cm². Os incrementos seguintes devem variar entre 0,35 kgf/cm² até 1,40 kgf/cm² e não precisam manter uma diferença constante entre a tensão confinante e a contrapressão, desde que essa diferença não seja menor que 0,35 kgf/cm² até atingir uma contrapressão máxima de 2,00 kgf/cm² a 4,00 kgf/cm², conforme a necessidade do corpo de prova de atingir a saturação completa ou atingir o valor de pressão neutra previsto nos estudos de projeto.

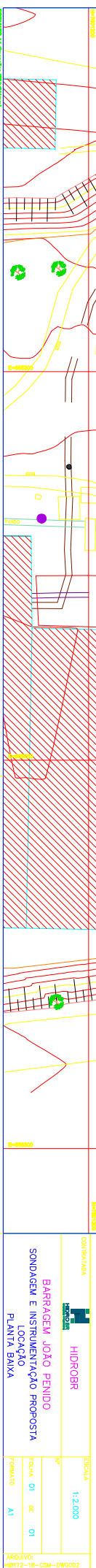
Na fase de saturação o valor do parâmetro B de poropressão de Skempton ($B = \Delta\mu/\Delta\sigma_3$) não deve ser inferior a 98%, e o parâmetro B deve permanecer inalterado com incrementos na contrapressão.

O adensamento deverá ser feito submetendo os corpos de prova às suas respectivas tensões confinantes efetivas de ensaio, deixando drenar pelo topo e pela base durante 24 horas, fazendo o controle da variação de volume em buretas graduadas conectadas às células e testes de pressão neutra nula. Caso se observe que o corpo de prova continue adensando por mais que 24 horas, continuar fazendo leituras até que ocorra estabilização do mesmo.

O rompimento deverá ser feito em prensa de deformação controlada, com velocidade de deformação da ordem de 0,09 mm/min, sendo conduzido até uma deformação axial específica de 20%. Durante o rompimento será feita medidas das pressões neutras desenvolvidas, para determinação dos parâmetros de resistência em termos de tensões efetivas.

Os resultados a serem apresentados pelo laboratório devem conter, para cada tensão confinante, uma tabela com as variações de deformação, de pressão neutra e acréscimo de tensão axial para os vários instantes em que forem efetuadas as medidas; a envoltória de Mohr-Coulomb, em termos de tensões totais e efetivas; o gráfico p versus q para tensões totais e efetivas; a curva tensão-deformação; a curva pressão neutra-deformação; os índices físicos, a condição de moldagem e as características geométricas do corpo de prova; e uma foto do corpo de prova antes e após ruptura.

Os procedimentos do ensaio devem atender o preconizado na norma ASTM-D476.



LEGENDA:

- | | |
|---|---------------------------------------|
|  | SONDAGEM E INSTRUMENTAÇÃO PROPOSTA |
|  | PIEZOMETRO – EXISTENTE |
|  | INDICADOR DE NÍVEL D'ÁGUA – EXISTENTE |
-
- | | |
|-------|--------------------------------|
| – SM: | SONDAGEM MISTA |
| – MT: | MURO TOPOGRÁFICO |
| – NA: | NAU: INDICADOR DE NÍVEL D'ÁGUA |
| – PI: | PILO: POÇO DE INSPEÇÃO |
| – SM: | SM: SEM NÚMERO |

1	06/02/2019	R.O.M.S
0	30/11/2018	R.O.M.S
REV	DATA	ASSINATURA

REVISORES

CONTRATANTE CESAMA

CESAMA
COMPANHIA DE SANEAMENTO MUNICIPAL

CONTRATADA	ESCALA

HIDROB

BARRAGEM JOÃO PENIDO
SONDAGEM E INSTRUMENTAÇÃO PROPOSTA

PLANTA BAIXA

COMPANHIA DE SANEAMENTO MUNICIPAL - CESAMA

PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM – PSB

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO- GEOTÉCNICAS E ENSAIOS LABORATORIAIS

BARRAGEM DR. JOÃO PENIDO

Nº Documento: HBR72-18-CSM-REL022			Nº Contrato/Lote: HBR72-18	
2	06/05/20	ADEQUAÇÃO DAS QUANTIDADES	HBR	VLV
1	08/02/19	APROVADO	HBR	VLV
0	30/11/18	EMIÇÃO INICIAL	HBR	VLV
Rev.	Data	Descrição da Revisão	Elaborado por	Aprovado por

ÍNDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>PÁGINA</u>
1	INTRODUÇÃO	3
2	ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DAS SONDAGENS.....	3
2.1	MARCOS DE DEFORMAÇÃO SUPERFICIAL	4
2.1.1	Critérios de paralisação do SPT e início da sondagem rotativa	4
2.2	SONDAGEM A PERCUSSÃO	5
2.2.1	Equipamentos.....	5
2.2.2	Procedimentos.....	6
2.2.3	Amostragem e SPT	7
2.2.4	Apresentação dos resultados	9
2.3	SONDAGEM ROTATIVA.....	10
2.3.1	Equipamentos.....	10
2.3.2	Procedimentos.....	10
2.3.3	Amostragem	11
2.3.4	Critérios de paralisação	12
2.3.5	Apresentação dos resultados	13
3	ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE CAMPO	14
3.1	ENSAIO DE INFILTRAÇÃO EM SOLO	14
3.1.1	Equipamentos.....	14
3.1.2	Procedimento.....	15
3.1.3	Apresentação dos resultados	15
3.2	ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA SOB PRESSÃO	16
3.2.1	Equipamentos.....	16
3.2.2	Ensaio de perda de carga.....	16
3.2.3	Trecho e pressão do ensaio de perda d'água	17
3.2.4	Procedimento.....	17
3.2.5	Apresentação dos resultados	18
4	AMOSTRAGEM.....	19
4.1	AMOSTRAS DEFORMADAS	19
4.2	AMOSTRAS INDEFORMADAS.....	19
5	ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS LABORATORIAIS	20
5.1	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	21
5.2	MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS	21
5.3	LIMITES DE ATTERBERG.....	21
5.4	MASSA ESPECÍFICA APARENTE.....	21
5.5	PERMEABILIDADE A CARGA VARIÁVEL	21
5.6	ADENSAMENTO EDOMÉTRICO.....	22
5.7	ENSAIO TRIAXIAL CIU _{sat}	22

1 INTRODUÇÃO

O presente documento descreve a programação e as especificações técnicas das investigações geológico-geotécnicas a serem realizadas na Barragem Dr. João Penido, de propriedade da Companhia de Saneamento Municipal (CESAMA) de Juiz de Fora/MG.

O plano proposto consiste na execução de sondagens mistas (SM), com previsão de ensaios SPT (Standard Penetration Test) nos trechos em solo, e ensaios de permeabilidade (infiltração em solo e perda d'água em rochas); além da abertura de poços de inspeção e coleta de amostras para realização de ensaios laboratoriais.

A finalidade das investigações é de caracterizar os materiais que compõem o aterro e fundação da estrutura, determinando os horizontes e perfis geológicos da área de estudo e fornecendo os parâmetros de resistência dos materiais. Dessa forma, com base nos resultados obtidos, será possível realizar uma avaliação geológico-geotécnica mais abrangente da Barragem Dr. João Penido.

2 ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DAS SONDAgens

As sondagens mistas e a realização dos ensaios de permeabilidade de campo devem ocorrer conforme especificado na Tabela 2-1.

Tabela 2-1 – Detalhamento das sondagens mistas

FURO	COORDENADAS		PROFUNDIDADE ESTIMADA (m) ⁽¹⁾	ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO (ESTIMADOS)	PROF. ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO ⁽²⁾
	E	N			
SM-02	665.229	7.601.275	30,0	6	A cada 5 m
SM-04	665.211	7.601.265	25,0	5	A cada 5 m
SM-05	665.240	7.601.264	25,0	5	A cada 5 m

NOTAS: (1) Critério de paralisação: 5,0 m em rocha sã.

(2) Para as camadas de fundação, os ensaios de infiltração deverão ser realizados a cada 5,0m e/ou em profundidade inferior, quando houver mudança de camada.

Ressalta-se que, conforme detectado em visita de campo realizada à área de estudo por profissionais da HIDROBR, bem como consta no levantamento topográfico da estrutura, existe área de brejo a jusante da barragem. Dessa forma, deverá ser avaliado em campo, pela equipe de execução das investigações, a capacidade de suporte desse material para entrada dos equipamentos. Caso necessário, deverá ser criado um aterro (plataforma) sobre o brejo.

2.1 MARCOS DE DEFORMAÇÃO SUPERFICIAL

A sondagem mista é a união ou alternância da sondagem a percussão com a sondagem rotativa, que permite a caracterização das camadas de solo pelo método de sondagem percussiva, com medidas de SPT e perfuração testemunhada do maciço rochoso pelo método de sondagem rotativa. Este tipo de sondagem é utilizado quando há uma cobertura de solo sobre o maciço rochoso no local onde será executada a sondagem rotativa. Neste caso, a perfuração inicia-se com a sondagem a percussão e quando a resistência do material atinge os critérios de paralisação de sondagem percussiva (item 2.1.1) antes da profundidade estimada para o furo, inicia-se então a perfuração com a sondagem rotativa.

A numeração indicada na Tabela 2-1 e no desenho de locação dos furos (HBR72-18-CSM-DWG002) deverá ser obedecida, porém a sondagem poderá ser relocada em função de interferências em campo, mas com a aprovação da Projetista e/ou Fiscalização. Quando for necessária a execução de mais de um furo num mesmo ponto de investigação, os furos subsequentes terão a mesma numeração do primeiro, acrescida das letras A, B, C, etc.

Os resultados finais de cada sondagem mista devem ser apresentados, num prazo máximo de 20 dias após o seu término, na forma de perfis individuais na escala 1:100, em papel A4, onde constem todos os dados levantados e a classificação geológica e geotécnica dos materiais atravessados, feita por geólogo ou engenheiro, cujo o nome e assinatura deverão constar no perfil.

O número de peças e a recuperação dos testemunhos devem constar na forma de gráficos com suas variações em profundidade.

Até 30 dias após o término do último furo da campanha programada, devem ser entregues, os seguintes documentos, que formarão o relatório final:

- a) Texto explicativo com critério de descrição das amostras, correções e interpretações adotadas nos testes executados, bem como outras informações de interesse e conhecimento da contratada, com nome e assinatura do responsável pela empresa de sondagem;
- b) Planta de localização das sondagens ou esboço com distâncias aproximadas e amarração.

2.1.1 Critérios de paralisação do SPT e início da sondagem rotativa

A Tabela 2-1 determina a profundidade prevista para a paralisação das sondagens mistas propostas. Para o trecho em solo (sondagem a percussão), o item 6.4 da Norma NBR 6484 (ABNT, 2001) condiciona a paralisação do furo antes da profundidade prevista devido aos critérios estabelecidos a seguir:

- Quando o processo de perfuração estiver sendo executado por Circulação de Água (CA):

- Quando, em 3 metros sucessivos, ocorrerem penetrações iguais a 30/15, ou seja, quando ocorrer 30 golpes para a penetração dos 15 cm iniciais do amostrador;
- Quando, em 4 metros sucessivos, ocorrerem penetrações iguais a 50/30, ou seja, quando ocorrer 50 golpes para a penetração dos 30 cm iniciais do amostrador;
- Quando, em 5 metros sucessivos, ocorrerem penetrações iguais a 50/45, ou seja, quando ocorrer 50 golpes para a penetração dos 45 cm do amostrador.
- A sondagem deve ser dada por encerrada quando, no ensaio de avanço da perfuração por circulação de água, forem obtidos avanços inferiores a 50 mm em cada período de 10 min ou quando, após a realização de quatro ensaios consecutivos, não for alcançada a profundidade de execução do SPT.
- Após o encerramento do processo de perfuração por trépano e circulação de água como indicado nos dois itens acima, a perfuração deve continuar com sondagem rotativa, conforme apresentado no item 2.3.
- Caso não haja avanço do amostrador durante a aplicação de 5 golpes sucessivos antes de se alcançar a profundidade estimada para atendimento do projeto, deve-se deslocar a sondagem no mínimo 2 vezes para posições diametralmente opostas, a 2 m da sondagem inicial.
- Caso a perfuração da sondagem mista pare em uma profundidade menor que a especificada (15,0 m), deverá ser iniciada a sondagens rotativa até 5,0 m de profundidade.

Os critérios de paralisação para o trecho em rocha são apresentados no item 2.3.4.

2.2 SONDAGEM A PERCUSSÃO

A sondagem a percussão é um procedimento geotécnico de campo capaz de amostrar o subsolo e, quando associada ao ensaio de penetração dinâmica (SPT), mede a resistência do solo ao longo da profundidade perfurada.

Os objetivos principais de uma sondagem a percussão associada a ensaios SPT são: conhecer a resistência e compressibilidade do solo a cada metro perfurado, natureza e tipo de solo por uma identificação tátil-visual através de retirada de amostra deformada; assim como a espessura das camadas e a posição do lençol freático.

2.2.1 Equipamentos

Os equipamentos e ferramentas são compostos pelos seguintes elementos principais:

- Tripé com roldana;

- Guincho mecânico ou moitão;
- Trado concha e helicoidal;
- Hastes e luvas de aço galvanizado;
- Alimentador de água;
- Cruzeta;
- Trépano e “T” de lavagem;
- Barriletes-amostradores e peças para cravação destes;
- Martelo com 65 kg e guia;
- Tubos de revestimentos;
- Torquímetro;
- Bomba d'água;
- Abraçadeiras para revestimento;
- Abaixadores e alçadores para hastes;
- Saca-tubos;
- Bomba-balde (baldinho com válvula de pé);
- Chaves de grifo;
- Metro ou Trena;
- Recipientes herméticos (tipo copo) para amostras;
- Sacos plásticos transparentes de alta resistência;
- Etiquetas para identificação;
- Medidor de nível d'água.

A empresa que irá executar as atividades deve fornecer equipamento para execução de sondagens de até 35 m de profundidade.

As hastes deverão ser de tubo reto de 1" de diâmetro interno, com roscas que permitam firme conexão com as luvas e peso de aproximadamente 3,0 kg por metro linear. As peças de avanço da sondagem deverão permitir a abertura de um furo com diâmetro mínimo de 2 1/2".

2.2.2 Procedimentos

Os procedimentos, a seguir, para a execução da sondagem a percussão e dos ensaios SPT são baseados na norma brasileira NBR 6484 (ABNT, 2001) Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. A execução da sondagem deve ser realizada da seguinte maneira:

- A sondagem deve ser iniciada após a limpeza da área que permita o desenvolvimento de todas as operações e a abertura de um sulco ao seu redor para desviar as águas de chuva;
- Junto ao local de execução devem ser cravados um piquete e uma estaca com a identificação da sondagem;
- A sondagem deve ser iniciada com emprego do trado-concha ou cavadeira manual até a profundidade de 1 m, seguindo-se a instalação até essa profundidade, do primeiro segmento do tubo de revestimento dotado de sapata cortante;
- Nas operações subsequentes de perfuração, intercaladas às de ensaio e amostragem, deve ser utilizado trado helicoidal até se atingir o nível d'água freático;
- Quando o avanço da perfuração com emprego do trado helicoidal for inferior a 50 mm após 10 min de operação ou no caso de solo não aderente ao trado, passa-se ao método de perfuração por circulação de água, também chamado de lavagem. Para tanto, é obrigatória a cravação de revestimento. Quando se realizar a lavagem, deve-se erguer o sistema de circulação de água a 30 cm a partir do fundo do furo. Durante sua queda livre, deve-se imprimir um movimento de rotação no hasteamento. Ao atingir a cota de ensaio e amostragem, a composição de perfuração deve ser suspensa a uma altura de 20 cm do fundo do furo, mantendo-se a circulação de água por tempo suficiente, até que todos os detritos da perfuração tenham sido removidos do interior do furo;
- Durante a operação de perfuração, devem ser anotadas as profundidades das transições de camadas detectadas por exame tátil-visual e da mudança de coloração de materiais trazidos à boca do furo pelo trado helicoidal ou pela água de circulação;
- Caso atinja o nível freático, anotar a profundidade do furo. Durante todas as operações da perfuração, deve-se manter o nível d'água no interior do furo, em cota igual ou superior ao do nível d'água do lençol freático encontrado e correspondente. Os níveis d'água devem ser medidos antes do início dos trabalhos, todos os dias e no dia seguinte à conclusão da sondagem;
- Antes de se retirar a composição de perfuração, com o trado helicoidal ou o trépano de lavagem apoiado no fundo do furo, deve ser feita uma marca na haste à altura da boca do revestimento, para que seja medida, com erro máximo de 10 mm, a profundidade em que se irá apoiar o amostrador na operação subsequente de ensaio e amostragem;
- Ao final da sondagem, o furo deve ser totalmente preenchido com solo ou solo-cimento, deixando-se cravada no local uma estaca com identificação da sondagem.

2.2.3 Amostragem e SPT

O ensaio SPT (Standard Penetration Test) consiste na cravação do barrilete-amostrador, através do impacto vertical de um martelo de 65 kg, caindo livremente de uma altura de 75 cm sobre a composição de hastes.

As amostras deverão ser representativas dos materiais atravessados e livres de contaminação. A cada metro de perfuração, a partir de 1 m de profundidade, devem ser colhidas amostras dos solos por meio do amostrador-padrão, com execução de SPT. Deve ser coletada, para exame posterior, uma parte representativa do solo colhido pelo trado-concha durante a perfuração, até 1 m de profundidade.

- a) As amostras a serem obtidas devem ser dos seguintes tipos: as amostras de barrilete-amostrador SPT, com cerca de 200 g, constituídas pela parte inferior do amostrador; as amostras de trado, com cerca de 500 g, constituídas por material obtido durante a perfuração e coletadas na parte inferior das lâminas do trado; as amostras de lavagem, com cerca de 500 g, obtidas pela decantação da água de circulação. As amostras coletadas devem ser acondicionadas em uma caixa de madeira;
- b) A cada ensaio de penetração, cerca de 100 g da amostra do barrilete devem ser imediatamente acondicionados em recipientes de vidro ou de plástico rígido e com tampa. Esta amostra deve ser identificada por duas etiquetas, sendo uma interna e outra colada na parte externa do recipiente e deve ter as seguintes informações: nome da obra e cliente, número da sondagem, número da amostra, profundidade, número de golpes e penetração do ensaio, data e o operador;
- c) O martelo para cravação deverá possuir uma haste-guia, onde a altura de 75 cm deve ser assinalada. O martelo deve ser erguido manualmente, com auxílio de corda e polias. Não será permitida a utilização de cabo de aço nesta operação. A queda do martelo deve ocorrer verticalmente, dissipando a menor energia possível;
- d) Apoiar o barrilete no fundo do furo, e conectar as hastes de modo que estejam firmes e retilíneas. Assinalar 3 trechos de 15 cm, referidos a um ponto fixo no terreno. Inicia-se a cravação do barrilete através da queda do martelo, onde cada queda do martelo corresponde a um golpe e devem ser anotados o número de golpes e a penetração em centímetros para a cravação de cada terço do barrilete; caso ocorram penetrações superiores a 15 cm, estas devem ser anotadas;
- e) A cravação do amostrador-padrão é interrompida antes dos 45 cm de penetração sempre que ocorrer uma das seguintes situações:
 - Em qualquer dos três segmentos de 15 cm, o número de golpes ultrapassar 30;
 - Um total de 50 golpes tiver sido aplicado durante toda a cravação; e
 - Não se observar avanço do amostrador-padrão durante a aplicação de cinco golpes sucessivos do martelo.

O ensaio de avanço da perfuração por circulação de água inicia-se quando o último item acima é atendido. O ensaio por circulação de água consiste no emprego do procedimento específico com duração de 30 min, devendo-se anotar os avanços do trépano em cada período de 10 min;

- f) O índice da resistência à penetração (N^{SPT}) corresponde ao número de golpes necessários à cravação dos 30 cm finais do barrilete-amostrador.

2.2.4 Apresentação dos resultados

A empresa de sondagem deve fornecer todas as informações de sondagem, quando solicitada pela Projetista ou pela CESAMA. Os resultados preliminares de cada sondagem percussiva devem ser apresentados num prazo máximo de 10 (dez) dias após seu término, em boletins, com três vias, onde constem:

- Nome da estrutura e do contratante;
- Identificação e localização do furo;
- Diâmetro da sondagem e método de perfuração;
- Cota e coordenadas;
- Data da execução;
- Nome do sondador e da firma;
- Tabela com leituras de nível d'água com: data, hora, nível d'água, profundidade do furo, profundidade do revestimento e observações sobre eventuais fugas de água, artesianismo, instalação de obturador, com sua cota, etc. No caso de não ter sido atingido o nível d'água, deverão constar no boletim as palavras "furo seco";
- Posição final do revestimento;
- Resultados dos ensaios de penetração SPT, com o número de golpes e avanço em centímetros para cada terço de penetração do amostrador;
- Resultados dos ensaios de lavagem, com o intervalo ensaiado, avanço em centímetros e tempo de operação da peça de lavagem;
- Resultados dos ensaios de permeabilidade (genericamente conhecido por ensaio de infiltração), quando realizados, com indicação do método utilizado, posição das extremidades superior e inferior do revestimento, profundidade do furo, diâmetro do revestimento e medidas de absorção d'água feitas a cada minuto, com respectiva unidade;
- Identificação das anomalias observadas e fenômenos importantes ocorridos durante a perfuração;
- Descrição sucinta dos materiais;
- Motivo da paralisação do furo;
- Visto do encarregado.

Os resultados finais de cada sondagem percussiva devem ser apresentados, num prazo máximo de 20 (vinte) dias após o seu término, na forma de perfis individuais na escala 1:100, em papel A4, onde constem todos os dados levantados e a classificação geológica e geotécnica dos materiais atravessados, feita por geólogo ou engenheiro, cujo o nome e assinatura deverão constar no perfil.

2.3 SONDAGEM ROTATIVA

A sondagem rotativa é destinada principalmente às investigações em rocha, embora esse método também seja usado para solos. A ferramenta de perfuração pode ser uma broca de corte ou uma broca (coroa) diamantada para a recuperação de testemunhos.

2.3.1 Equipamentos

Os equipamentos e ferramentas são compostos pelos seguintes elementos principais:

- Tripé com roldana;
- Sonda;
- Motor a combustão interna ou elétrico;
- Bomba de água;
- Guincho;
- Ferramentas;
- Tubo de revestimento;
- Coroa;
- Luvas alargadoras;
- Hastes;
- Barriletes;
- Retentores de testemunhos;
- Obturadores de borracha.

Além dos equipamentos supracitados, devem ser também providenciados os materiais exigidos para a sondagem a percussão, conforme relação descrita no item 2.2.1.

A utilização de barriletes simples e coroas de vidia será permitida ou solicitada pela fiscalização quando a porcentagem de recuperação e amostragem de materiais moles ou incoerentes não for considerada crítica.

2.3.2 Procedimentos

A seguir apresentam-se os procedimentos para este tipo de perfuração, tais como descritos no Manual de Sondagens/Boletim nº 3 (ABGE/2013). A execução da sondagem deve ser realizada da seguinte maneira:

- a) Em terreno seco, a sondagem deve ser iniciada após a limpeza de uma área que permita o desenvolvimento de todas as operações sem obstáculos e a abertura de um

sulco ao redor, que desvie as águas de enxurradas, no caso de chuva. A sonda deve ser firmemente ancorada no terreno, de maneira a minimizar as vibrações e a consequente transmissão para a composição da sondagem;

- b) A sondagem rotativa pode ser iniciada após o encerramento do processo de perfuração por percussão quando se precise continuar com a investigação do subsolo;
- c) Junto ao local onde será executada a sondagem, deve ser cravado um piquete com a identificação da sondagem, que servirá de ponto de referência para medidas de profundidade e para fins de amarração topográfica;
- d) Devem ser empregados todos os recursos das sondagens rotativas, de maneira a assegurar a perfeita recuperação de todos os materiais atravessados. Os principais recursos são: escolha de equipamentos e acessórios apropriados às condições geológicas, realização de manobras curtas e adequação da velocidade de perfuração às características geológicas da rocha perfurada. Constituem elementos de interesse: o registro das características da sonda rotativa e da coluna de perfuração utilizadas, o tempo de realização das manobras, as características da coroa (quilatagem, pedras por quilate, tipo, tempo de uso, etc.), bem como a avaliação da pressão aplicada sobre a composição, sua velocidade de rotação, velocidade de avanço, pressão e vazão da água de circulação;
- e) O diâmetro a ser utilizado pela sondagem rotativa deve ser o NW;
- f) Caso a sondagem atinja o nível freático, a sua profundidade deve ser anotada. Se ocorrer artesianismo não-surgente, deve ser registrado o nível estático; no caso de artesianismo surgente, além do nível estático, devem ser medidas a vazão e o respectivo nível dinâmico. Os níveis d'água (estático/dinâmico) devem ser medidos todos os dias, antes do início dos trabalhos e na manhã seguinte à conclusão da sondagem; e
- g) Após a última leitura de nível d'água, quando houver, ou após o encerramento da sondagem, o furo deve ser totalmente preenchido, deixando-se cravada no local uma estaca com a identificação da sondagem. O preenchimento deve ser feito com solo ou solo-cimento, ao longo de toda sua extensão.

2.3.3 Amostragem

Os procedimentos e amostragem para a execução da sondagem mista e dos ensaios SPT, estão apresentados nos itens 2.2.2 e 2.2.3, quando a perfuração for em solo; e no presente item, quando a perfuração for em rocha, tendo em conta que:

- a) No horizonte de solo, a sondagem percussiva deve ser feita com medidas de SPT a cada metro, até serem atingidos os critérios de paralisação definidos na Tabela 2-1, no item 2;
- b) A sondagem rotativa deve ser iniciada após o encerramento do processo de perfuração por percussão;
- c) A amostragem deve ser contínua e total, mesmo em materiais incoerentes ou muito fraturados, permitindo ao geólogo buscar informações geológicas de interesse à

- caracterização do maciço rochoso. Os testemunhos não devem se apresentar fraturados ou roletados pela ação mecânica do equipamento de sondagem;
- d) A relação entre a extensão do trecho perfurado e o comprimento total do testemunho obtido, conhecida como recuperação, deve ser calculada e expressa em porcentagem, não podendo ser inferior a 95% por manobra, exceto quando autorizado pela fiscalização. Para medir a recuperação, as partes do testemunho devem ser justapostas, recompondo-se, tanto quanto possível, a situação natural anterior à perfuração;
 - e) As operações de retirada das amostras do barrilete e de seu acondicionamento nas caixas devem ser feitas cuidadosamente, de maneira a serem mantidas as posições relativas dos testemunhos coletados. Caso seja necessário quebrar o testemunho para acondicioná-lo na caixa, o local da quebra deve ser assinalado por dois riscos paralelos, com tinta indelével, traçados transversalmente à quebra. As amostras devem ser acondicionadas em caixas de madeira aplainada ou de plástico;
 - f) As caixas devem ser feitas de madeira providas de tampa, com dobradiças. Na tampa e num dos lados menores da caixa, devem ser anotados, com tinta indelével, os seguintes dados: número do furo, nome da obra e cliente, local, número da caixa e o número de caixas do furo;
 - g) Os testemunhos devem ser colocados nas caixas, após cada manobra, iniciando-se pela canaleta adjacente às dobradiças, com a parte superior da manobra ao seu lado esquerdo. As amostras das manobras subsequentes devem ser colocadas na caixa, sempre guardando, na sequência crescente de profundidade das amostras, o andamento da esquerda para a direita, e da dobradiça para o outro lado da caixa;
 - h) As amostras de cada manobra devem ser separadas por um taco de madeira, afixado transversalmente na canaleta. Neste taco, deve ser escrita sua profundidade com caneta esferográfica ou tinta indelével. No último taco, colocado após a última manobra do furo, deve constar, além da profundidade final do furo, a palavra “fim”;
 - i) No caso de ser empregado, no início do furo ou num determinado intervalo, avanço de sondagem pelo processo a percussão, as amostras assim coletadas devem ser acondicionadas na mesma caixa de amostra da sondagem rotativa, segundo a sequência de sua obtenção;
 - j) As caixas de amostras devem permanecer guardadas à sombra, em local ventilado, até o final da sondagem;
 - k) Quando, no avanço da sondagem rotativa, ocorrer mais de 50 cm de material mole ou incoerente, deve ser executado ensaio de penetração SPT, seguido de outros a intervalos de 1 m, até serem atingidos os critérios de paralisação definidos no subitem 2.1.1;
 - l) Os ensaios de infiltração e perda d'água a serem realizados, devem seguir as especificações dadas nos itens 3.1 e 3.2.

2.3.4 Critérios de paralisação

As sondagens rotativas devem ser paralisadas quando atingirem o limite disposto na Tabela 2-1.

2.3.5 Apresentação dos resultados

A empresa de sondagem deve fornecer todas as informações de sondagem, quando solicitada pela Projetista ou pela CESAMA. Os resultados preliminares de cada sondagem mista devem ser apresentados num prazo máximo de 15 dias após seu término, em boletins, com três vias, onde constem:

- Nome da estrutura e do contratante;
- Identificação e localização do furo;
- Diâmetro da sondagem e método de perfuração;
- Cota e coordenadas;
- Data da execução;
- Nome do sondador e da firma;
- Tabela com leituras de nível d'água com: data, hora, nível d'água, profundidade do furo, profundidade do revestimento e observações sobre eventuais fugas de água, artesianismo, instalação de obturador, com sua cota, etc. No caso de não ter sido atingido o nível d'água, deverão constar no boletim as palavras "furo seco";
- Posição final do revestimento;
- Resultados dos ensaios de penetração SPT, com o número de golpes e avanço em centímetros para cada terço de penetração do amostrador;
- Resultados dos ensaios de lavagem, com o intervalo ensaiado, avanço em centímetros e tempo de operação da peça de lavagem;
- Resultados dos ensaios de permeabilidade (genericamente conhecido por ensaio de infiltração), quando realizados, com indicação do método utilizado, posição das extremidades superior e inferior do revestimento, profundidade do furo, diâmetro do revestimento e medidas de absorção d'água feitas a cada minuto, com respectiva unidade;
- Identificação das anomalias observadas e fenômenos importantes ocorridos durante a perfuração;
- Descrição sucinta dos materiais;
- Motivo da paralisação do furo;
- Visto do encarregado.

3 ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE CAMPO

3.1 ENSAIO DE INFILTRAÇÃO EM SOLO

Comumente assim denominados, são ensaios de permeabilidade executados em furos de sondagem cuja finalidade é a determinação do coeficiente de permeabilidade do solo.

Os ensaios de permeabilidade em furos de sondagens consistem na medida da vazão absorvida ou retirada, em função da aplicação de uma carga ou descarga, respectivamente. As cargas são diferenciais de pressão, induzidas por colunas de água, resultantes de injeção d'água no furo; as descargas são diferenciais de pressão provocadas por retirada de água do furo. Nesta especificação somente serão explicitados os ensaios por injeção de água.

Provocando-se carga no furo, podem ser realizados dois tipos de ensaios:

- Ensaio de infiltração, também denominado infiltração a nível constante – mantém-se a carga constante, medindo a vazão necessária para mantê-la;
- Ensaio de rebaixamento, também denominado infiltração a nível variável – estabelece-se uma coluna d'água inicial, interrompe-se a introdução da água e acompanha-se, no tempo, o rebaixamento do nível d'água.

3.1.1 Equipamentos

Os equipamentos e ferramentas necessários à execução dos ensaios de infiltração são:

- Bomba de água com capacidade mínima de 40 L/min;
- Hidrômetro, em boas condições, com divisões de escala em litros, testado no início de cada furo e sempre que houver suspeita de mau funcionamento. O hidrômetro não deve apresentar desvio superior a 10% do valor real na faixa de vazão entre 10 e 40 L/min. É vedado o uso de curvas de calibração;
- Tambor graduado em litros com capacidade de aproximadamente 200 Litros;
- Provetas ou latas graduadas a cada 50 centímetros cúbicos, com capacidade mínima de 1 Litro;
- Funil com rosca para acompanhamento no revestimento com redução mínima de 1 polegada e diâmetro maior de, no mínimo, 20 centímetros;
- Escarificador constituído por uma haste decimétrica de madeira ou de metal, com numerosos pregos sem cabeça, semicravados;
- Medidor de nível d'água.

3.1.2 Procedimento

- a) A execução do ensaio de permeabilidade e de SPT num mesmo trecho deve ser limitada aos horizontes abaixo do nível d'água, ou onde o avanço da sondagem for feito pelo método da lavagem. Ensaio de infiltração acima do nível d'água devem ser feitos em um novo furo, deslocado de 3 m em relação ao primeiro;
- b) A parede do furo no horizonte do solo a ser ensaiado deve ser desobstruída por raspagem com o escarificador;
- c) O revestimento deve ser posicionado até um mínimo de 100 cm acima do nível do terreno. Enche-se o furo com água até a boca, tomando-se este instante como tempo zero;
- d) Devem ser realizados ensaios de infiltração durante a execução das sondagens mistas, conforme especificado na Tabela 2-1. Os ensaios de infiltração devem ser iniciados a partir 1 m da superfície, sempre que se estiver em material de saprolito;
- e) Deve ser feito ensaio de rebaixamento quando a carga hidráulica, no trecho ensaiado, for superior a 0,2 kgf/cm² ou 0,02 Mpa (2,0 m de coluna d'água) e, por avaliação visual, o rebaixamento da água no tubo de revestimento for inferior a 10,0 cm/min;
- f) O ensaio de rebaixamento será feito através da medida do nível d'água dentro do revestimento, a intervalos de tempo curtos no início e mais longos em seguida (por exemplo, 15 s, 30 s, 1 min, 2 min, 3 min, 4 min, 5 min, etc.). As medidas de rebaixamento devem ser iniciadas após a manutenção do tubo de revestimento cheio de água até a boca, durante 10 min, no mínimo;
- g) O ensaio de rebaixamento deve ser concluído quando o rebaixamento atingir 20% da carga inicial aplicada ou após 30 min de ensaio;
- h) O ensaio de infiltração consiste na medida da absorção d'água estabilizada a cada minuto, durante 10 minutos. O nível de água deve ser mantido constante, medindo-se o volume de água introduzido durante esse tempo;
- i) As medidas de absorção d'água no ensaio de infiltração devem ser feitas com hidrômetros acoplados à canalização da bomba, quando forem superiores a 10 L/min.; com proveta graduada, quando forem inferiores a 1 L/min; e com tambor graduado, em casos intermediários;
- j) A empresa executora do ensaio deve fornecer o registro completo das informações necessárias ao cálculo do coeficiente de permeabilidade, tais como: vazão, nível d'água, diâmetro e profundidade do furo, comprimento do trecho de ensaio, etc.

3.1.3 Apresentação dos resultados

Os resultados dos ensaios devem ser apresentados no mesmo perfil da Sondagem Mista. Devem ser apresentados em valores numéricos: a pressão efetiva em kg/cm², da absorção em L/min.m e da perda d'água específica em L/min.m/kg/cm², assinalados em três colunas justapostas, limitadas acima e abaixo por linhas horizontais na posição dos limites do intervalo ensaiado. O coeficiente de permeabilidade do solo (k) será dado em cm/s.

3.2 ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA SOB PRESSÃO

O ensaio de perda d'água sob pressão será realizado em maciços rochosos através de furos de sondagem, visando medir a permeabilidade desses maciços frente à percolação de água através de suas fissuras. Consiste na medida de água absorvida pelo maciço durante determinado tempo, a uma dada pressão de injeção. O ensaio deverá ser realizado para vários estágios de pressão. O procedimento é baseado no Boletim nº 03 da ABGE – Manual de Sondagens.

3.2.1 Equipamentos

- Bomba de água com capacidade de vazão de 120 L/min, a uma pressão de 1 Mpa. A critério da fiscalização, poderá ser utilizada uma bomba com capacidade de vazão de 60 L/min, caso as absorções sejam compatíveis com estas vazões;
- Hidrômetro com divisões de escala em litros. Deve ser sensível para detectar uma vazão mínima de 3L/min. A capacidade nominal do hidrômetro deve ser de 3 ou 5 m³/h para vazões até 60 L/min e 7 m³/h para vazões entre 60 a 120 L/min;
- Manômetro com capacidade e divisões de escala adequadas às pressões a serem aplicadas. A máxima pressão de operação deve ser 75% do valor máximo da escala do manômetro;
- Obturador de borracha tipo pneumático ou mecânico simples. O comprimento mínimo deve ser de 30 cm, e o diâmetro externo deve ser 5 mm menor que o furo para obturadores mecânicos e apresentar comprimento mínimo de 60 cm para obturadores pneumáticos;
- Canalização, mangueira, luvas e cotovelos em boas condições, com luvas e estanques e diâmetro mínimo de 25, 4 mm (1");
- Estabilizadores de pressão;
- Transdutores de pressão.

3.2.2 Ensaio de perda de carga

O ensaio de perda de carga consiste numa simulação, em superfície, do ensaio de perda d'água. Este ensaio tem por objetivo a determinação da perda de pressão provocada pelo atrito da água com as paredes da tubulação. Será feito um ensaio a cada campanha de sondagem, onde serão medidas a pressão e a vazão em estágios de aproximadamente 10, 20, 40 e 60 l/min., para comprimento de tubulação de L, 3/4 L e ½ L.

Com os resultados obtidos, deverá ser construído um ábaco relacionando vazão, comprimento da tubulação e perda de carga, que será utilizado na correção da pressão, efetivamente aplicada no trecho do furo ensaiado por perda d'água.

O problema da perda de carga pode ser eliminado com a utilização de um transdutor posicionado no trecho do ensaio. Neste caso não há necessidade de realizar o ensaio de perda de carga. Ressalta-se que o transdutor registra toda a pressão a que está submetido. Portanto, para a determinação da pressão efetiva de ensaio, deverá ser subtraída a pressão correspondente ao nível d'água ou piezômetro, isso quando o trecho do ensaio estiver na porção saturada do maciço.

3.2.3 Trecho e pressão do ensaio de perda d'água

Os ensaios deverão ser executados à medida que ocorrerem os avanços da sondagem, em trechos de aproximadamente 3,0 m de comprimento, a contar do início da efetiva utilização do processo rotativo.

A fiscalização poderá solicitar a execução de ensaios adicionais em trechos de diferentes comprimentos, tanto na porção final da sondagem como acima dela. Neste caso deverá ser empregado obturador duplo.

As pressões do ensaio serão aplicadas num ciclo de 5 estágios, a saber: pressão mínima, pressão intermediária, pressão máxima, pressão intermediária e pressão mínima. As pressões em cada estágio deverão obedecer aos seguintes critérios:

- Pressão máxima: 0,25 kg/cm² por metro de profundidade, na vertical, a contar da boca do furo até a metade do trecho ensaiado. No caso de rocha friável ou muito alterada, será usado 0,15 kg/cm²/m;
- Pressão intermediária: igual à metade da pressão máxima;
- Pressão mínima: igual à pressão exercida por uma coluna d'água interna à tubulação do obturador, de aproximadamente 1,0 m de altura acima da boca do furo.

As pressões máximas e intermediárias deverão ter seus valores arredondados até a divisão mais próxima do manômetro.

3.2.4 Procedimento

Inicialmente, deverá ser realizada uma lavagem cuidadosa do furo até que a água de circulação se apresente limpa e isenta de detritos. Terminada a limpeza, deverá ser instalado o obturador do tipo conveniente, com a extremidade inferior da porção vedante no limite superior do trecho a ser ensaiado. Não deverá ser aplicada pressão no furo antes do início do ensaio.

A técnica de ensaio com obturador duplo não deverá ser empregada como alternativa de ensaio com obturador simples. O seu emprego deverá ser restrito às situações em que forem necessários ensaios complementares em trechos acima da posição do fundo do furo.

Ao ser aplicada a pressão mínima do primeiro estágio, deverá ser avaliada a eficiência da vedação do obturador, através da medida do nível d'água no furo, que geralmente sobe quando o obturador não está vedando. Se exequível, para facilitar esta observação, recomenda-se o enchimento do furo com água até a boca do revestimento após a instalação do obturador. Em caso de impossibilidade de vedação devido ao fraturamento da rocha ao redor do trecho de aplicação do obturador, deverão ser utilizados obturadores de maior comprimento. Persistindo a impossibilidade de vedação, o obturador deverá ser deslocado para cima, até nova posição onde a vedação for eficiente.

Assegurada a vedação do trecho, será iniciada a aplicação dos estágios de pressão. A pressão mínima do 1º e 5º estágios será obtida pela manutenção da coluna d'água na tubulação do obturador (nos moldes do ensaio de infiltração), e as demais pressões serão dadas pela bomba d'água. Em cada estágio, após a estabilização dos valores de pressão e vazão, deverão ser feitas 10 medidas de seus valores em intervalos de 1 minuto.

Entende-se que os valores de absorção d'água e pressão estarão estabilizados quando:

- Não for observada uma variação progressiva nos valores medidos;
- A diferença entre as leituras e o seu valor médio for inferior a 20% do valor médio;
- A oscilação da pressão manométrica não exceder a 10% do valor da pressão manométrica de ensaio.

Na fase decrescente do ciclo de pressão, se ocorrer retorno da água injetada, a tubulação deverá ser aberta, e serão anotados os seguintes valores:

- Volume total de água retornada até o total alívio de pressão de água no trecho ensaiado;
- Pressão aplicada no trecho.

Para a medida do volume de água retornada, poderá ser utilizado o próprio hidrômetro, com conexão invertida para garantir seu perfeito funcionamento, ou tambor de volume conhecido. Após as medidas do volume retornado, o ensaio deverá ser retomado a partir do estágio subsequente àquele que deu origem ao retorno da água. Quando, mesmo com a vazão máxima da bomba, não for atingido o valor da pressão de qualquer um dos estágios, deverão ser feitas leituras dos valores de pressão e vazão atingidos, durante 10 minutos, a cada minuto. Além do registro deste caso de absorção total da vazão da bomba, deverão ser executados e registrados os demais estágios com pressão inferior ao daquela cuja pressão não foi atingida.

3.2.5 Apresentação dos resultados

Os resultados dos ensaios deverão ser apresentados no mesmo perfil da sondagem mista. Deverão conter, em valores numéricos: a pressão efetiva em kg/cm², a absorção em L/min.m e a perda d'água específica em L/min.m/kg/cm², assinalados em três colunas justapostas, limitadas acima e abaixo por linhas horizontais na posição dos limites do intervalo ensaiado. O coeficiente de permeabilidade do solo (k) será dado em cm/s.

4 AMOSTRAGEM

A coleta de amostras deformadas e indeformadas deve ocorrer conforme exposto na Tabela 4-1.

Tabela 4-1 – Detalhamento da coleta de amostras

FURO	AMOSTRAS DEFORMADAS		AMOSTRAS INDEFORMADAS		AMOSTRAS INDEFORMADAS - DENISON	
	QUANTI-DADE	PROF. ESTIMADA (m)	QUANTI-DADE	PROF. ESTIMADA (m)	QUANTI-DADE	PROF. ESTIMADA (m)
SM-02	1	10,0	-	-	1	10,0
SM-05 ³	3	10,0 / 45,0 / 50,0	-	-	3	10,0 / 45,0 / 50,0

4.1 AMOSTRAS DEFORMADAS

As amostras deformadas são aquelas extraídas por raspagem ou escavação, ou através da coleta do material proveniente da sondagem, o que implica na destruição da estrutura e na alteração das condições de compactidade ou consistência naturais do material.

As amostras deformadas coletadas nas sondagens devem obedecer ao estabelecido na Tabela 4-1e aos critérios apresentados no item 2.2.3, acondicionadas em sacos de lona ou plástico resistente em quantidade não menor de 30 kg. Para estas amostras deve-se ter:

- Identificação por duas etiquetas de papel, envolvidas por um plástico ou uma camada plástica, uma externa e outra interna ao recipiente de amostragem, contendo:
 - Nome da obra e cliente;
 - Nome do local;
 - Número do poço ou trincheira;
 - Intervalo de profundidade da amostra; e
 - Data de coleta.

4.2 AMOSTRAS INDEFORMADAS

Amostras indeformadas são aquelas extraídas com o mínimo de perturbação possível, de modo a preservar as estruturas, condições de umidade, compactidade e consistência naturais do material e deve seguir as seguintes recomendações.

DENISON

- Os procedimentos a serem seguidos na coleta das amostras indeformadas em barrilete especial tipo Denison devem seguir o exposto no Procedimento DNER-PRO-002/94;
- A perfuração deve estar isenta de material solo e o solo a ser coletado não pode ser afetado pela operação de limpeza do furo. A parede íntera do tubo onde se alojará a amostra deve ser untada com óleo ou graxa, para facilitar a sua extração no laboratório;
- A amostra deve ser cortada sempre com comprimento 5 cm menor que o da camisa;
- As amostras devem ser devidamente identificadas.

A responsabilidade de transporte das amostras ao laboratório, tanto deformadas quanto indeformadas, será da CESAMA.

5 ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS LABORATORIAIS

Os ensaios laboratoriais programados para subsidiar a avaliação da Barragem Dr. João Penido deverão ser realizados conforme preconizado nas normas brasileiras em vigor ou normas e referências internacionais semelhantes.

Para as amostras coletadas, os ensaios previstos são:

- | | |
|---|-----------------------|
| • Granulometria por peneiramento e sedimentação | NBR 7181 |
| • Massa Específica real dos grãos | NBR 6508 |
| • Limites de Liquidez | NBR 6459 |
| • Limite de Plasticidade | NBR 7180 |
| • Massa Específica aparente | NBR 10838 |
| • Permeabilidade | NBR 14545 / NBR 13292 |
| • Adensamento Edométrico Unidimensional | NBR 12007 |
| • Ensaio Triaxial CIUsat | ASTM D4767 |

As quantidades estão expressas na Tabela 5-1

Tabela 5-1 – Detalhamento dos ensaios de laboratório

Furo	Granulometria completa	Massa esp. real dos grãos	Limites Atterberg	Massa específica aparente	Permeabilidade	Adensamento	Triaxial CIUsat ¹
SM-02	1	1	1	1	1	-	1
SM-05	3	3	3	3	3	2 ⁶	3

5.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Os resultados a serem entregues pelo laboratório deve conter a curva granulométrica em um gráfico semi-logarítmico entre o diâmetro dos grãos e a porcentagem de material passante acumulado nas peneiras; uma tabela com os diâmetros das peneiras e as respectivas porcentagens retidas e retidas acumuladas da amostra; bem como uma tabela com os dados do processo de sedimentação.

5.2 MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS

O valor final da massa específica, média obtida pelos ensaios realizados, deve ser expresso com três algarismos significativos, e, além dele, outros dados devem ser apresentados pelo laboratório, como por exemplo, a temperatura da água, a fórmula utilizada na determinação da massa específica, as massas do picnômetro, do picnômetro com água, e do picnômetro com água e com solo.

5.3 LIMITES DE ATTERBERG

Os resultados apresentados pelo laboratório devem conter os valores dos limites de plasticidade e de liquidez, expressos em porcentagem, aproximados para o número inteiro mais próximo; o valor do índice de plasticidade; o gráfico do limite de liquidez (umidade versus número de golpes); e uma foto do material ensaiado, caso o mesmo tenha sido considerado não plástico.

5.4 MASSA ESPECÍFICA APARENTE

A massa específica aparente natural do solo deve ser expressa com três algarismos significativos, em g/cm³, e o teor de umidade do solo, com aproximação de 0,1%.

5.5 PERMEABILIDADE A CARGA VARIÁVEL

¹ Cada ensaio triaxial será realizado com 04 CPs, com tensões de confinamento de 75 kPa, 150 kPa, 300 kPa e 600 kPa.

Os resultados deverão apresentar: o coeficiente de permeabilidade $K_{\text{médio}}$, referente à temperatura da água na realização do ensaio; o coeficiente de permeabilidade $K_{20^{\circ}\text{C}}$ médio, referente à temperatura de 20°C , ambos expressos de forma exponencial e em cm/s; as características geométricas do corpo de prova e do permeâmetro utilizado; os índices físicos da amostra; o volume de água percolado; e a variação da altura do corpo de prova, do $K_{20^{\circ}\text{C}}$, e do K para os vários instantes em que forem efetuadas as medidas.

5.6 ADENSAMENTO EDOMÉTRICO

Os corpos de prova deverão ser ensaiados para as amostras selecionadas da área da fundação. Os materiais de fundação deverão ser talhados diretamente a partir do bloco, na direção topo-base.

Cada corpo de prova deverá ser submetido a 13 estágios de carregamento e descarregamento, sendo as pressões especificadas: 6,25 / 12,5 / 25 / 50 / 100 / 200 / 400 / 800 / 1600 kPa, para carregamento; e 1600 / 800 / 400 / 200 kPa, para descarregamento. Cada aplicação de incremento de carga deverá ocorrer em um intervalo de tempo não superior a dois segundos e sem impacto significativo.

A inundação do corpo de prova deverá ocorrer desde a primeira etapa de carregamento. Recomenda-se deixar o corpo de prova inundado pelo menos 24 horas antes de iniciar o ensaio, para assegurar um alto grau de saturação. Os resultados conterão uma curva semi-logarítmica do índice de vazios versus pressão, indicando o índice de vazios inicial, a pressão de pré-adensamento, o índice de compressão e descarregamento, a condição do ensaio (sem inundação ou inundado), a curva do coeficiente de adensamento (C_v) em função do logaritmo da pressão média no estágio e a curva logaritmo do coeficiente de permeabilidade em função do índice de vazios. Deverá ser apresentada também a curva de deslocamento (altura do corpo de prova) vs logaritmo do tempo para cálculo de C_v pelo método de Casagrande em cada estágio ou a curva deslocamento vs raiz do tempo para cálculo de C_v pelo método de Taylor em cada estágio, as características geométricas da amostra e do anel de adensamento, os índices físicos da amostra iniciais e finais, bem como uma tabela com as variações de pressão, de altura do corpo de prova, do índice de vazios, t_{90} ou t_{50} , dependendo do método de cálculo de C_v e dos coeficientes de variação volumétrica (mv), de compressibilidade (av), de adensamento (C_v) e de permeabilidade (k). Os procedimentos do ensaio devem atender o preconizado na norma NBR 12007.

5.7 ENSAIO TRIAXIAL CIU_{sat}

Para o ensaio triaxial CIU , recomenda-se seguir a norma internacional ASTM D4767. Devem ser ensaiados 04 corpos de prova (CPs) sob as tensões confinantes de 75, 150, 300 e 600 kPa para definir a envoltória de resistência.

Para o ensaio realizado com as amostras indeformadas, os corpos de prova deverão ser talhados na direção vertical (topo-base) e apresentar, no mínimo 35 mm de diâmetro.

Os corpos de prova devem ter 35 mm ou 50 mm de diâmetro e altura de 2,0 a 2,5 vezes o diâmetro, considerando que a maior partícula deve ser menor que 1/6 do diâmetro do corpo de prova.

Os corpos de prova deverão ser montados nas células de compressão triaxial ficando entre pedras porosas de areia ou de latão fervidas e escovadas no topo e na base e papel filtro antes de cada ensaio, conectados com dispositivos de drenagem, medidores de pressão neutra e aplicação de contrapressão na base. Os corpos de prova deverão ser submetidos à saturação por percolação e por contrapressão.

A saturação por percolação é feita por meio de uma coluna d'água de 2 m de altura preferencialmente, dependendo da rigidez do corpo de prova. A percolação deve ser no sentido da base para o topo, de modo a eliminar ou diminuir o volume de ar contido nos vazios e elevar o grau de saturação.

Já para a saturação por contrapressão, o incremento inicial deve ser da ordem de até 0,50 kgf/cm². Os incrementos seguintes devem variar entre 0,35 kgf/cm² até 1,40 kgf/cm² e não precisam manter uma diferença constante entre a tensão confinante e a contrapressão, desde que essa diferença não seja menor que 0,35 kgf/cm² até atingir uma contrapressão máxima de 2,00 kgf/cm² a 4,00 kgf/cm², conforme a necessidade do corpo de prova de atingir a saturação completa ou atingir o valor de pressão neutra previsto nos estudos de projeto.

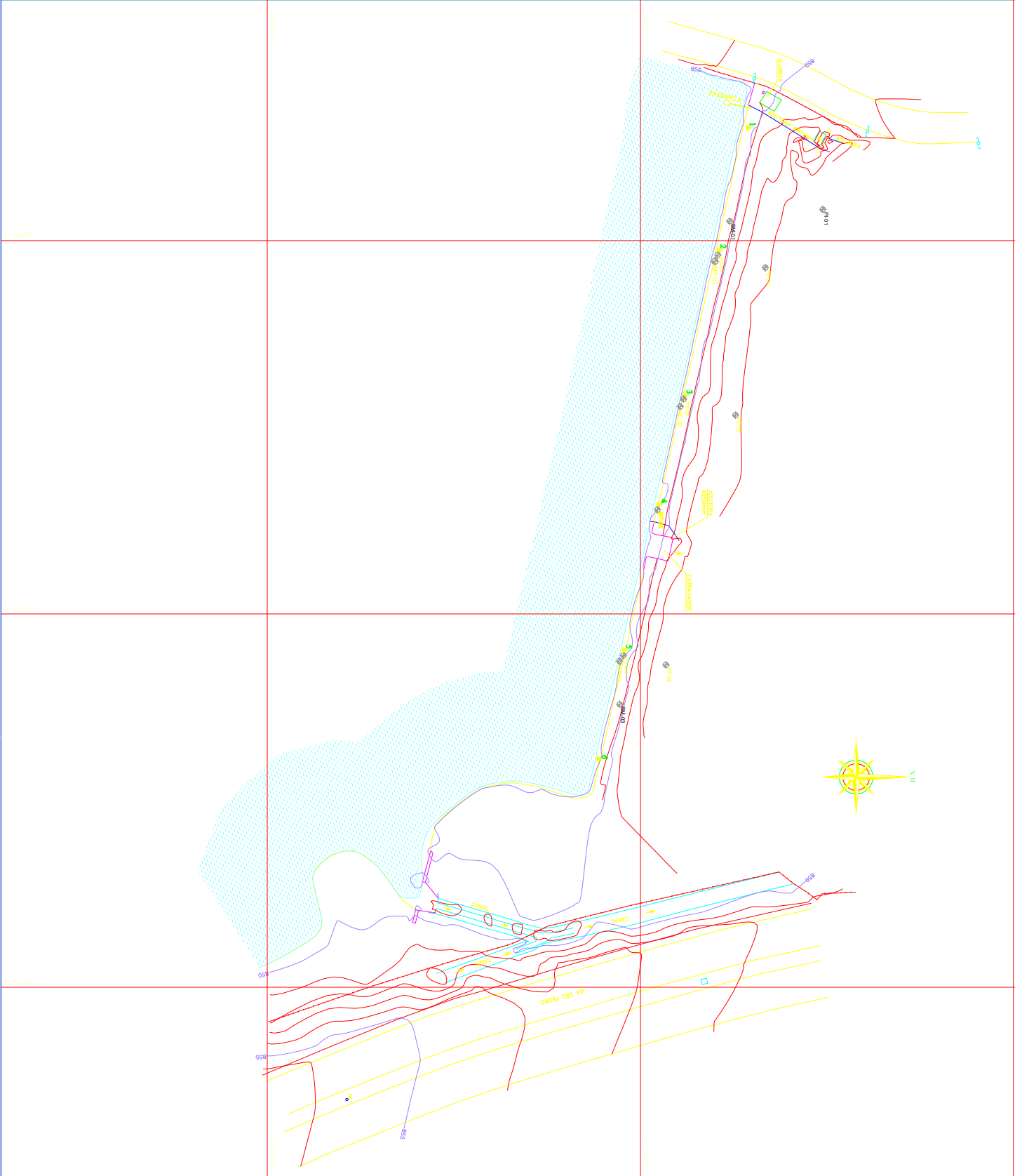
Na fase de saturação o valor do parâmetro B de poropressão de Skempton ($B = \Delta\mu / \Delta\sigma_3$) não deve ser inferior a 98%, e o parâmetro B deve permanecer inalterado com incrementos na contrapressão.

O adensamento deverá ser feito submetendo os corpos de prova às suas respectivas tensões confinantes efetivas de ensaio, deixando drenar pelo topo e pela base durante 24 horas, fazendo o controle da variação de volume em buretas graduadas conectadas às células e testes de pressão neutra nula. Caso se observe que o corpo de prova continue adensando por mais que 24 horas, continuar fazendo leituras até que ocorra estabilização do mesmo.

O rompimento deverá ser feito em prensa de deformação controlada, com velocidade de deformação da ordem de 0,09 mm/min, sendo conduzido até uma deformação axial específica de 20%. Durante o rompimento será feita medidas das pressões neutras desenvolvidas, para determinação dos parâmetros de resistência em termos de tensões efetivas.

Os resultados a serem apresentados pelo laboratório devem conter, para cada tensão confinante, uma tabela com as variações de deformação, de pressão neutra e acréscimo de tensão axial para os vários instantes em que forem efetuadas as medidas; a envoltória de Mohr-Coulomb, em termos de tensões totais e efetivas; o gráfico p versus q para tensões totais e efetivas; a curva tensão-deformação; a curva pressão neutra-deformação; os índices físicos, a condição de moldagem e as características geométricas do corpo de prova; e uma foto do corpo de prova antes e após ruptura.

Os procedimentos do ensaio devem atender o preconizado na norma ASTM-D476.



LEGENDA:

- SONDAGEM E INSTRUMENTAÇÃO PROPOSTA
- INDICADOR DE NÍVEL D'ÁGUA - EXISTENTE
- SE - SONDADEIRA MISTA
- NI - NÍVEL TOPOGRÁFICO

REV.	DATA	CONTINUAÇÃO	REVISÕES
1	06/02/2018	6.4.4.5	APROVADO
0	30/11/2018	6.4.4.5	EMISSÃO FINAL
REV.	DATA	CONTINUAÇÃO	REVISÕES

CONTRATANTE: **CESAMA** COMPANHIA DE SANEAMENTO MUNICIPAL

CONTRATADA: **HIDROBR** ESCALA: 1:500

BARRAGEM SÃO PEDRO

SONDAGEM E INSTRUMENTAÇÃO PROPOSTA

LOCALIZAÇÃO

PLANTA BAIXA

ARQUIVO: BR72-18-CSM-DWG003

COMPANHIA DE SANEAMENTO MUNICIPAL - CESAMA

PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM – PSB

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO- GEOTÉCNICAS E ENSAIOS LABORATORIAIS

BARRAGEM SÃO PEDRO

Nº Documento: HBR72-18-CSM-REL024			Nº Contrato/Lote: HBR72-18	
2	06/05/20	ADEQUAÇÃO DAS QUANTIDADES	HBR	VLV
1	08/02/19	APROVADO	HBR	VLV
0	30/11/18	EMISSION INICIAL	HBR	VLV
Rev.	Data	Descrição da Revisão	Elaborado por	Aprovado por

ÍNDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>PÁGINA</u>
1	INTRODUÇÃO	3
2	ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DAS SONDAGENS.....	3
2.1	MARCOS DE DEFORMAÇÃO SUPERFICIAL	3
2.1.1	Critérios de paralisação do SPT e início da sondagem rotativa	4
2.2	SONDAGEM A PERCUSSÃO	5
2.2.1	Equipamentos.....	5
2.2.2	Procedimentos.....	6
2.2.3	Amostragem e SPT	7
2.2.4	Apresentação dos resultados	8
2.3	SONDAGEM ROTATIVA.....	9
2.3.1	Equipamentos.....	9
2.3.2	Procedimentos.....	10
2.3.3	Amostragem	11
2.3.4	Critérios de paralização	12
2.3.5	Apresentação dos resultados	12
3	ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE CAMPO	13
3.1	ENSAIO DE INFILTRAÇÃO EM SOLO	13
3.1.1	Equipamentos.....	14
3.1.2	Procedimento.....	14
3.1.3	Apresentação dos resultados	15
3.2	ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA SOB PRESSÃO	15
3.2.1	Equipamentos.....	15
3.2.2	Ensaio de perda de carga.....	16
3.2.3	Trecho e pressão do ensaio de perda d'água	16
3.2.4	Procedimento.....	17
3.2.5	Apresentação dos resultados	18
4	AMOSTRAGEM.....	18
4.1	AMOSTRAS DEFORMADAS	19
4.2	AMOSTRAS INDEFORMADAS.....	19
5	ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS LABORATORIAIS	20
5.1	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	20
5.2	MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS	21
5.3	LIMITES DE ATTERBERG.....	21
5.4	MASSA ESPECÍFICA APARENTE.....	21
5.5	PERMEABILIDADE A CARGA VARIÁVEL	21
5.6	ADENSAMENTO EDOMÉTRICO.....	21
5.7	ENSAIO TRIAXIAL CIU_{sat}	22

1 INTRODUÇÃO

O presente documento descreve a programação e as especificações técnicas das investigações geológico-geotécnicas a serem realizadas na Barragem São Pedro, de propriedade da Companhia de Saneamento Municipal (CESAMA) de Juiz de Fora/MG.

O plano proposto consiste na execução de sondagens mistas (SM), com previsão de ensaios SPT (Standard Penetration Test) nos trechos em solo, e ensaios de permeabilidade (infiltração em solo e perda d'água em rochas); além da abertura de poços de inspeção e coleta de amostras para realização de ensaios laboratoriais.

A finalidade das investigações é de caracterizar os materiais que compõem o aterro e fundação da estrutura, determinando os horizontes e perfis geológicos da área de estudo e fornecendo os parâmetros de resistência dos materiais. Dessa forma, com base nos resultados obtidos, será possível realizar uma avaliação geológico-geotécnica mais abrangente da Barragem São Pedro.

2 ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DAS SONDAgens

As sondagens mistas e a realização dos ensaios de permeabilidade de campo devem ocorrer conforme especificado na Tabela 2-1.

Tabela 2-1 – Detalhamento das sondagens mistas

FURO	COORDENADAS		PROFUNDIDADE ESTIMADA (m) ⁽¹⁾	ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO	PROF. ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO
	E	N			
SM-01	664.994	7.590.724	20,00	3	1,5 / 5 / 10 m
SM-03	665.124	7.590.694	20,00	3	1,5 / 5 / 10 m

NOTAS: (1) Critério de paralisação: 5,0 m em rocha sã.

Ressalta-se que, conforme detectado em visita de campo realizada à área de estudo por profissionais da HIDROBR, bem como consta no levantamento topográfico da estrutura, existe área de brejo a jusante da barragem. Dessa forma, deverá ser avaliado em campo, pela equipe de execução das investigações, a capacidade de suporte desse material para entrada dos equipamentos. Caso necessário, deverá ser criado um aterro (plataforma) sobre o brejo.

2.1 MARCOS DE DEFORMAÇÃO SUPERFICIAL

A sondagem mista é a união ou alternância da sondagem a percussão com a sondagem rotativa, que permite a caracterização das camadas de solo pelo método de sondagem percussiva, com medidas de SPT e perfuração testemunhada do maciço rochoso pelo método de sondagem rotativa. Este tipo de sondagem é utilizado quando há uma cobertura de solo sobre o maciço rochoso no local onde será executada a sondagem rotativa. Neste caso, a perfuração inicia-se com a sondagem a percussão e quando a resistência do material atinge os critérios de paralisação de sondagem percussiva (item 2.1.1) antes da profundidade estimada para o furo, inicia-se então a perfuração com a sondagem rotativa.

A numeração indicada na Tabela 2-1 e no desenho de locação dos furos (HBR72-18-CSM-DWG003) deverá ser obedecida, porém a sondagem poderá ser relocada em função de interferências em campo, mas com a aprovação da Projetista e/ou Fiscalização. Quando for necessária a execução de mais de um furo num mesmo ponto de investigação, os furos subsequentes terão a mesma numeração do primeiro, acrescida das letras A, B, C, etc.

Os resultados finais de cada sondagem mista devem ser apresentados, num prazo máximo de 20 dias após o seu término, na forma de perfis individuais na escala 1:100, em papel A4, onde constem todos os dados levantados e a classificação geológica e geotécnica dos materiais atravessados, feita por geólogo ou engenheiro, cujo o nome e assinatura deverão constar no perfil.

O número de peças e a recuperação dos testemunhos devem constar na forma de gráficos com suas variações em profundidade.

Até 30 dias após o término do último furo da campanha programada, devem ser entregues, os seguintes documentos, que formarão o relatório final:

- a) Texto explicativo com critério de descrição das amostras, correções e interpretações adotadas nos testes executados, bem como outras informações de interesse e conhecimento da contratada, com nome e assinatura do responsável pela empresa de sondagem;
- b) Planta de localização das sondagens ou esboço com distâncias aproximadas e amarração.

2.1.1 Critérios de paralisação do SPT e início da sondagem rotativa

A Tabela 2-1 determina a profundidade prevista para a paralisação das sondagens mistas propostas. Para o trecho em solo (sondagem a percussão), o item 6.4 da Norma NBR 6484 (ABNT, 2001) condiciona a paralisação do furo antes da profundidade prevista devido aos critérios estabelecidos a seguir:

- Quando o processo de perfuração estiver sendo executado por Circulação de Água (CA):
 - Quando, em 3 metros sucessivos, ocorrerem penetrações iguais a 30/15, ou seja, quando ocorrer 30 golpes para a penetração dos 15 cm iniciais do amostrador;
 - Quando, em 4 metros sucessivos, ocorrerem penetrações iguais a 50/30, ou seja, quando ocorrer 50 golpes para a penetração dos 30 cm iniciais do amostrador;
 - Quando, em 5 metros sucessivos, ocorrerem penetrações iguais a 50/45, ou seja, quando ocorrer 50 golpes para a penetração dos 45 cm do amostrador.
- A sondagem deve ser dada por encerrada quando, no ensaio de avanço da perfuração por circulação de água, forem obtidos avanços inferiores a 50 mm em cada período de

10 min ou quando, após a realização de quatro ensaios consecutivos, não for alcançada a profundidade de execução do SPT.

- Após o encerramento do processo de perfuração por trépano e circulação de água como indicado nos dois itens acima, a perfuração deve continuar com sondagem rotativa, conforme apresentado no item 2.3.
- Caso não haja avanço do amostrador durante a aplicação de 5 golpes sucessivos antes de se alcançar a profundidade estimada para atendimento do projeto, deve-se deslocar a sondagem no mínimo 2 vezes para posições diametralmente opostas, a 2 m da sondagem inicial.
- Caso a perfuração da sondagem mista pare em uma profundidade menor que a especificada (15,0 m), deverá ser iniciada a sondagens rotativa até 5,0 m de profundidade.

Os critérios de paralisação para o trecho em rocha são apresentados no item 2.3.4.

2.2 SONDAGEM A PERCUSSÃO

A sondagem a percussão é um procedimento geotécnico de campo capaz de amostrar o subsolo e, quando associada ao ensaio de penetração dinâmica (SPT), mede a resistência do solo ao longo da profundidade perfurada.

Os objetivos principais de uma sondagem a percussão associada a ensaios SPT são: conhecer a resistência e compressibilidade do solo a cada metro perfurado, natureza e tipo de solo por uma identificação tátil-visual através de retirada de amostra deformada; assim como a espessura das camadas e a posição do lençol freático.

2.2.1 Equipamentos

Os equipamentos e ferramentas são compostos pelos seguintes elementos principais:

- Tripé com roldana;
- Guincho mecânico ou moitão;
- Trado concha e helicoidal;
- Hastes e luvas de aço galvanizado;
- Alimentador de água;
- Cruzeta;
- Trépano e “T” de lavagem;
- Barriletes-amostradores e peças para cravação destes;
- Martelo com 65 kg e guia;

- Tubos de revestimentos;
- Torquímetro;
- Bomba d'água;
- Abraçadeiras para revestimento;
- Abaixadores e alçadores para hastes;
- Saca-tubos;
- Bomba-balde (baldinho com válvula de pé);
- Chaves de grifo;
- Metro ou Trena;
- Recipientes herméticos (tipo copo) para amostras;
- Sacos plásticos transparentes de alta resistência;
- Etiquetas para identificação;
- Medidor de nível d'água.

A empresa que irá executar as atividades deve fornecer equipamento para execução de sondagens de até 35 m de profundidade.

As hastes deverão ser de tubo reto de 1" de diâmetro interno, com roscas que permitam firme conexão com as luvas e peso de aproximadamente 3,0 kg por metro linear. As peças de avanço da sondagem deverão permitir a abertura de um furo com diâmetro mínimo de 2 1/2".

2.2.2 Procedimentos

Os procedimentos, a seguir, para a execução da sondagem a percussão e dos ensaios SPT são baseados na norma brasileira NBR 6484 (ABNT, 2001) Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. A execução da sondagem deve ser realizada da seguinte maneira:

- A sondagem deve ser iniciada após a limpeza da área que permita o desenvolvimento de todas as operações e a abertura de um sulco ao seu redor para desviar as águas de chuva;
- Junto ao local de execução devem ser cravados um piquete e uma estaca com a identificação da sondagem;
- A sondagem deve ser iniciada com emprego do trado-concha ou cavadeira manual até a profundidade de 1 m, seguindo-se a instalação até essa profundidade, do primeiro segmento do tubo de revestimento dotado de sapata cortante;
- Nas operações subsequentes de perfuração, intercaladas às de ensaio e amostragem, deve ser utilizado trado helicoidal até se atingir o nível d'água freático;

- Quando o avanço da perfuração com emprego do trado helicoidal for inferior a 50 mm após 10 min de operação ou no caso de solo não aderente ao trado, passa-se ao método de perfuração por circulação de água, também chamado de lavagem. Para tanto, é obrigatória a cravação de revestimento. Quando se realizar a lavagem, deve-se erguer o sistema de circulação de água a 30 cm a partir do fundo do furo. Durante sua queda livre, deve-se imprimir um movimento de rotação no hasteamento. Ao atingir a cota de ensaio e amostragem, a composição de perfuração deve ser suspensa a uma altura de 20 cm do fundo do furo, mantendo-se a circulação de água por tempo suficiente, até que todos os detritos da perfuração tenham sido removidos do interior do furo;
- Durante a operação de perfuração, devem ser anotadas as profundidades das transições de camadas detectadas por exame tátil-visual e da mudança de coloração de materiais trazidos à boca do furo pelo trado helicoidal ou pela água de circulação;
- Caso atinja o nível freático, anotar a profundidade do furo. Durante todas as operações da perfuração, deve-se manter o nível d'água no interior do furo, em cota igual ou superior ao do nível d'água do lençol freático encontrado e correspondente. Os níveis d'água devem ser medidos antes do início dos trabalhos, todos os dias e no dia seguinte à conclusão da sondagem;
- Antes de se retirar a composição de perfuração, com o trado helicoidal ou o trépano de lavagem apoiado no fundo do furo, deve ser feita uma marca na haste à altura da boca do revestimento, para que seja medida, com erro máximo de 10 mm, a profundidade em que se irá apoiar o amostrador na operação subsequente de ensaio e amostragem;
- Ao final da sondagem, o furo deve ser totalmente preenchido com solo ou solo-cimento, deixando-se cravada no local uma estaca com identificação da sondagem.

2.2.3 Amostragem e SPT

O ensaio SPT (Standard Penetration Test) consiste na cravação do barrilete-amostrador, através do impacto vertical de um martelo de 65 kg, caindo livremente de uma altura de 75 cm sobre a composição de hastes.

As amostras deverão ser representativas dos materiais atravessados e livres de contaminação. A cada metro de perfuração, a partir de 1 m de profundidade, devem ser colhidas amostras dos solos por meio do amostrador-padrão, com execução de SPT. Deve ser coletada, para exame posterior, uma parte representativa do solo colhido pelo trado-concha durante a perfuração, até 1 m de profundidade.

- a) As amostras a serem obtidas devem ser dos seguintes tipos: as amostras de barrilete-amostrador SPT, com cerca de 200 g, constituídas pela parte inferior do amostrador; as amostras de trado, com cerca de 500 g, constituídas por material obtido durante a perfuração e coletadas na parte inferior das lâminas do trado; as amostras de lavagem,

com cerca de 500 g, obtidas pela decantação da água de circulação. As amostras coletadas devem ser acondicionadas em uma caixa de madeira;

- b) A cada ensaio de penetração, cerca de 100 g da amostra do barrilete devem ser imediatamente acondicionados em recipientes de vidro ou de plástico rígido e com tampa. Esta amostra deve ser identificada por duas etiquetas, sendo uma interna e outra colada na parte externa do recipiente e deve ter as seguintes informações: nome da obra e cliente, número da sondagem, número da amostra, profundidade, número de golpes e penetração do ensaio, data e o operador;
- c) O martelo para cravação deverá possuir uma haste-guia, onde a altura de 75 cm deve ser assinalada. O martelo deve ser erguido manualmente, com auxílio de corda e polias. Não será permitida a utilização de cabo de aço nesta operação. A queda do martelo deve ocorrer verticalmente, dissipando a menor energia possível;
- d) Apoiar o barrilete no fundo do furo, e conectar as hastes de modo que estejam firmes e retilíneas. Assinalar 3 trechos de 15 cm, referidos a um ponto fixo no terreno. Inicia-se a cravação do barrilete através da queda do martelo, onde cada queda do martelo corresponde a um golpe e devem ser anotados o número de golpes e a penetração em centímetros para a cravação de cada terço do barrilete; caso ocorram penetrações superiores a 15 cm, estas devem ser anotadas;
- e) A cravação do amostrador-padrão é interrompida antes dos 45 cm de penetração sempre que ocorrer uma das seguintes situações:
 - Em qualquer dos três segmentos de 15 cm, o número de golpes ultrapassar 30;
 - Um total de 50 golpes tiver sido aplicado durante toda a cravação; e
 - Não se observar avanço do amostrador-padrão durante a aplicação de cinco golpes sucessivos do martelo.O ensaio de avanço da perfuração por circulação de água inicia-se quando o último item acima é atendido. O ensaio por circulação de água consiste no emprego do procedimento específico com duração de 30 min, devendo-se anotar os avanços do trépano em cada período de 10 min;
- f) O índice da resistência à penetração (N^{SPT}) corresponde ao número de golpes necessários à cravação dos 30 cm finais do barrilete-amostrador.

2.2.4 Apresentação dos resultados

A empresa de sondagem deve fornecer todas as informações de sondagem, quando solicitada pela Projetista ou pela CESAMA. Os resultados preliminares de cada sondagem percussiva devem ser apresentados num prazo máximo de 10 (dez) dias após seu término, em boletins, com três vias, onde constem:

- Nome da estrutura e do contratante;
- Identificação e localização do furo;
- Diâmetro da sondagem e método de perfuração;
- Cota e coordenadas;

- Data da execução;
- Nome do sondador e da firma;
- Tabela com leituras de nível d'água com: data, hora, nível d'água, profundidade do furo, profundidade do revestimento e observações sobre eventuais fugas de água, artesianismo, instalação de obturador, com sua cota, etc. No caso de não ter sido atingido o nível d'água, deverão constar no boletim as palavras "furo seco";
- Posição final do revestimento;
- Resultados dos ensaios de penetração SPT, com o número de golpes e avanço em centímetros para cada terço de penetração do amostrador;
- Resultados dos ensaios de lavagem, com o intervalo ensaiado, avanço em centímetros e tempo de operação da peça de lavagem;
- Resultados dos ensaios de permeabilidade (genericamente conhecido por ensaio de infiltração), quando realizados, com indicação do método utilizado, posição das extremidades superior e inferior do revestimento, profundidade do furo, diâmetro do revestimento e medidas de absorção d'água feitas a cada minuto, com respectiva unidade;
- Identificação das anomalias observadas e fenômenos importantes ocorridos durante a perfuração;
- Descrição sucinta dos materiais;
- Motivo da paralisação do furo;
- Visto do encarregado.

Os resultados finais de cada sondagem percussiva devem ser apresentados, num prazo máximo de 20 (vinte) dias após o seu término, na forma de perfis individuais na escala 1:100, em papel A4, onde constem todos os dados levantados e a classificação geológica e geotécnica dos materiais atravessados, feita por geólogo ou engenheiro, cujo o nome e assinatura deverão constar no perfil.

2.3 SONDAGEM ROTATIVA

A sondagem rotativa é destinada principalmente às investigações em rocha, embora esse método também seja usado para solos. A ferramenta de perfuração pode ser uma broca de corte ou uma broca (coroa) diamantada para a recuperação de testemunhos.

2.3.1 Equipamentos

Os equipamentos e ferramentas são compostos pelos seguintes elementos principais:

- Tripé com roldana;

- Sonda;
- Motor a combustão interna ou elétrico;
- Bomba de água;
- Guincho;
- Ferramentas;
- Tubo de revestimento;
- Coroa;
- Luvas alargadoras;
- Hastes;
- Barriletes;
- Retentores de testemunhos;
- Obturadores de borracha.

Além dos equipamentos supracitados, devem ser também providenciados os materiais exigidos para a sondagem a percussão, conforme relação descrita no item 2.2.1.

A utilização de barriletes simples e coroas de vidia será permitida ou solicitada pela fiscalização quando a porcentagem de recuperação e amostragem de materiais moles ou incoerentes não for considerada crítica.

2.3.2 Procedimentos

A seguir apresentam-se os procedimentos para este tipo de perfuração, tais como descritos no Manual de Sondagens/Boletim nº 3 (ABGE/2013). A execução da sondagem deve ser realizada da seguinte maneira:

- a) Em terreno seco, a sondagem deve ser iniciada após a limpeza de uma área que permita o desenvolvimento de todas as operações sem obstáculos e a abertura de um sulco ao redor, que desvie as águas de enxurradas, no caso de chuva. A sonda deve ser firmemente ancorada no terreno, de maneira a minimizar as vibrações e a consequente transmissão para a composição da sondagem;
- b) A sondagem rotativa pode ser iniciada após o encerramento do processo de perfuração por percussão quando se precise continuar com a investigação do subsolo;
- c) Junto ao local onde será executada a sondagem, deve ser cravado um piquete com a identificação da sondagem, que servirá de ponto de referência para medidas de profundidade e para fins de amarração topográfica;
- d) Devem ser empregados todos os recursos das sondagens rotativas, de maneira a assegurar a perfeita recuperação de todos os materiais atravessados. Os principais recursos são: escolha de equipamentos e acessórios apropriados às condições geológicas, realização de manobras curtas e adequação da velocidade de perfuração

às características geológicas da rocha perfurada. Constituem elementos de interesse: o registro das características da sonda rotativa e da coluna de perfuração utilizadas, o tempo de realização das manobras, as características da coroa (quilatagem, pedras por quilate, tipo, tempo de uso, etc.), bem como a avaliação da pressão aplicada sobre a composição, sua velocidade de rotação, velocidade de avanço, pressão e vazão da água de circulação;

- e) O diâmetro a ser utilizado pela sondagem rotativa deve ser o NW;
- f) Caso a sondagem atinja o nível freático, a sua profundidade deve ser anotada. Se ocorrer artesianismo não-surgente, deve ser registrado o nível estático; no caso de artesianismo surgente, além do nível estático, devem ser medidas a vazão e o respectivo nível dinâmico. Os níveis d'água (estático/dinâmico) devem ser medidos todos os dias, antes do início dos trabalhos e na manhã seguinte à conclusão da sondagem; e
- g) Após a última leitura de nível d'água, quando houver, ou após o encerramento da sondagem, o furo deve ser totalmente preenchido, deixando-se cravada no local uma estaca com a identificação da sondagem. O preenchimento deve ser feito com solo ou solo-cimento, ao longo de toda sua extensão.

2.3.3 Amostragem

Os procedimentos e amostragem para a execução da sondagem mista e dos ensaios SPT, estão apresentados nos itens 2.2.2 e 2.2.3, quando a perfuração for em solo; e no presente item, quando a perfuração for em rocha, tendo em conta que:

- a) No horizonte de solo, a sondagem percussiva deve ser feita com medidas de SPT a cada metro, até serem atingidos os critérios de paralisação definidos na Tabela 2-1, no item 2;
- b) A sondagem rotativa deve ser iniciada após o encerramento do processo de perfuração por percussão;
- c) A amostragem deve ser contínua e total, mesmo em materiais incoerentes ou muito fraturados, permitindo ao geólogo buscar informações geológicas de interesse à caracterização do maciço rochoso. Os testemunhos não devem se apresentar fraturados ou roletados pela ação mecânica do equipamento de sondagem;
- d) A relação entre a extensão do trecho perfurado e o comprimento total do testemunho obtido, conhecida como recuperação, deve ser calculada e expressa em porcentagem, não podendo ser inferior a 95% por manobra, exceto quando autorizado pela fiscalização. Para medir a recuperação, as partes do testemunho devem ser justapostas, recompondo-se, tanto quanto possível, a situação natural anterior à perfuração;
- e) As operações de retirada das amostras do barrilete e de seu acondicionamento nas caixas devem ser feitas cuidadosamente, de maneira a serem mantidas as posições relativas dos testemunhos coletados. Caso seja necessário quebrar o testemunho para acondicioná-lo na caixa, o local da quebra deve ser assinalado por dois riscos paralelos,

com tinta indelével, traçados transversalmente à quebra. As amostras devem ser acondicionadas em caixas de madeira aplainada ou de plástico;

- f) As caixas devem ser feitas de madeira providas de tampa, com dobradiças. Na tampa e num dos lados menores da caixa, devem ser anotados, com tinta indelével, os seguintes dados: número do furo, nome da obra e cliente, local, número da caixa e o número de caixas do furo;
- g) Os testemunhos devem ser colocados nas caixas, após cada manobra, iniciando-se pela canaleta adjacente às dobradiças, com a parte superior da manobra ao seu lado esquerdo. As amostras das manobras subseqüentes devem ser colocadas na caixa, sempre guardando, na sequência crescente de profundidade das amostras, o andamento da esquerda para a direita, e da dobradiça para o outro lado da caixa;
- h) As amostras de cada manobra devem ser separadas por um taco de madeira, afixado transversalmente na canaleta. Neste taco, deve ser escrita sua profundidade com caneta esferográfica ou tinta indelével. No último taco, colocado após a última manobra do furo, deve constar, além da profundidade final do furo, a palavra “fim”;
- i) No caso de ser empregado, no início do furo ou num determinado intervalo, avanço de sondagem pelo processo a percussão, as amostras assim coletadas devem ser acondicionadas na mesma caixa de amostra da sondagem rotativa, segundo a sequência de sua obtenção;
- j) As caixas de amostras devem permanecer guardadas à sombra, em local ventilado, até o final da sondagem;
- k) Quando, no avanço da sondagem rotativa, ocorrer mais de 50 cm de material mole ou incoerente, deve ser executado ensaio de penetração SPT, seguido de outros a intervalos de 1 m, até serem atingidos os critérios de paralisação definidos no subitem 2.1.1;
- l) Os ensaios de infiltração e perda d’água a serem realizados, devem seguir as especificações dadas nos itens 3.1 e 3.2.

2.3.4 Critérios de paralização

As sondagens rotativas devem ser paralisadas quando atingirem o limite disposto na Tabela 2-1.

2.3.5 Apresentação dos resultados

A empresa de sondagem deve fornecer todas as informações de sondagem, quando solicitada pela Projetista ou pela CESAMA. Os resultados preliminares de cada sondagem mista devem ser apresentados num prazo máximo de 15 dias após seu término, em boletins, com três vias, onde constem:

- Nome da estrutura e do contratante;
- Identificação e localização do furo;

- Diâmetro da sondagem e método de perfuração;
- Cota e coordenadas;
- Data da execução;
- Nome do sondador e da firma;
- Tabela com leituras de nível d'água com: data, hora, nível d'água, profundidade do furo, profundidade do revestimento e observações sobre eventuais fugas de água, artesianismo, instalação de obturador, com sua cota, etc. No caso de não ter sido atingido o nível d'água, deverão constar no boletim as palavras "furo seco";
- Posição final do revestimento;
- Resultados dos ensaios de penetração SPT, com o número de golpes e avanço em centímetros para cada terço de penetração do amostrador;
- Resultados dos ensaios de lavagem, com o intervalo ensaiado, avanço em centímetros e tempo de operação da peça de lavagem;
- Resultados dos ensaios de permeabilidade (genericamente conhecido por ensaio de infiltração), quando realizados, com indicação do método utilizado, posição das extremidades superior e inferior do revestimento, profundidade do furo, diâmetro do revestimento e medidas de absorção d'água feitas a cada minuto, com respectiva unidade;
- Identificação das anomalias observadas e fenômenos importantes ocorridos durante a perfuração;
- Descrição sucinta dos materiais;
- Motivo da paralisação do furo;
- Visto do encarregado.

3 ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE CAMPO

3.1 ENSAIO DE INFILTRAÇÃO EM SOLO

Comumente assim denominados, são ensaios de permeabilidade executados em furos de sondagem cuja finalidade é a determinação do coeficiente de permeabilidade do solo.

Os ensaios de permeabilidade em furos de sondagens consistem na medida da vazão absorvida ou retirada, em função da aplicação de uma carga ou descarga, respectivamente. As cargas são diferenciais de pressão, induzidas por colunas de água, resultantes de injeção d'água no furo; as descargas são diferenciais de pressão provocadas por retirada de água do furo. Nesta especificação somente serão explicitados os ensaios por injeção de água.

Provocando-se carga no furo, podem ser realizados dois tipos de ensaios:

- Ensaio de infiltração, também denominado infiltração a nível constante – mantém-se a carga constante, medindo a vazão necessária para mantê-la;
- Ensaio de rebaixamento, também denominado infiltração a nível variável – estabelece-se uma coluna d'água inicial, interrompe-se a introdução da água e acompanha-se, no tempo, o rebaixamento do nível d'água.

3.1.1 Equipamentos

Os equipamentos e ferramentas necessários à execução dos ensaios de infiltração são:

- Bomba de água com capacidade mínima de 40 L/min;
- Hidrômetro, em boas condições, com divisões de escala em litros, testado no início de cada furo e sempre que houver suspeita de mau funcionamento. O hidrômetro não deve apresentar desvio superior a 10% do valor real na faixa de vazão entre 10 e 40 L/min. É vedado o uso de curvas de calibração;
- Tambor graduado em litros com capacidade de aproximadamente 200 Litros;
- Provetas ou latas graduadas a cada 50 centímetros cúbicos, com capacidade mínima de 1 Litro;
- Funil com rosca para acompanhamento no revestimento com redução mínima de 1 polegada e diâmetro maior de, no mínimo, 20 centímetros;
- Escarificador constituído por uma haste decimétrica de madeira ou de metal, com numerosos pregos sem cabeça, semicravados;
- Medidor de nível d'água.

3.1.2 Procedimento

- a) A execução do ensaio de permeabilidade e de SPT num mesmo trecho deve ser limitada aos horizontes abaixo do nível d'água, ou onde o avanço da sondagem for feito pelo método da lavagem. Ensaio de infiltração acima do nível d'água devem ser feitos em um novo furo, deslocado de 3 m em relação ao primeiro;
- b) A parede do furo no horizonte do solo a ser ensaiado deve ser desobstruída por raspagem com o esarificador;
- c) O revestimento deve ser posicionado até um mínimo de 100 cm acima do nível do terreno. Enche-se o furo com água até a boca, tomando-se este instante como tempo zero;
- d) Devem ser realizados ensaios de infiltração durante a execução das sondagens mistas, conforme especificado na Tabela 2-1. Os ensaios de infiltração devem ser iniciados a partir 1 m da superfície, sempre que se estiver em material de saprolito;

- e) Deve ser feito ensaio de rebaixamento quando a carga hidráulica, no trecho ensaiado, for superior a $0,2 \text{ kgf/cm}^2$ ou $0,02 \text{ Mpa}$ (2,0 m de coluna d'água) e, por avaliação visual, o rebaixamento da água no tubo de revestimento for inferior a 10,0 cm/min;
- f) O ensaio de rebaixamento será feito através da medida do nível d'água dentro do revestimento, a intervalos de tempo curtos no início e mais longos em seguida (por exemplo, 15 s, 30 s, 1 min, 2 min, 3 min, 4 min, 5 min, etc.). As medidas de rebaixamento devem ser iniciadas após a manutenção do tubo de revestimento cheio de água até a boca, durante 10 min, no mínimo;
- g) O ensaio de rebaixamento deve ser concluído quando o rebaixamento atingir 20% da carga inicial aplicada ou após 30 min de ensaio;
- h) O ensaio de infiltração consiste na medida da absorção d'água estabilizada a cada minuto, durante 10 minutos. O nível de água deve ser mantido constante, medindo-se o volume de água introduzido durante esse tempo;
- i) As medidas de absorção d'água no ensaio de infiltração devem ser feitas com hidrômetros acoplados à canalização da bomba, quando forem superiores a 10 L/min.; com proveta graduada, quando forem inferiores a 1 L/min; e com tambor graduado, em casos intermediários;
- j) A empresa executora do ensaio deve fornecer o registro completo das informações necessárias ao cálculo do coeficiente de permeabilidade, tais como: vazão, nível d'água, diâmetro e profundidade do furo, comprimento do trecho de ensaio, etc.

3.1.3 Apresentação dos resultados

Os resultados dos ensaios devem ser apresentados no mesmo perfil da Sondagem Mista. Devem ser apresentados em valores numéricos: a pressão efetiva em kg/cm^2 , da absorção em L/min.m e da perda d'água específica em L/min.m/kg/cm^2 , assinalados em três colunas justapostas, limitadas acima e abaixo por linhas horizontais na posição dos limites do intervalo ensaiado. O coeficiente de permeabilidade do solo (k) será dado em cm/s .

3.2 ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA SOB PRESSÃO

O ensaio de perda d'água sob pressão será realizado em maciços rochosos através de furos de sondagem, visando medir a permeabilidade desses maciços frente à percolação de água através de suas fissuras. Consiste na medida de água absorvida pelo maciço durante determinado tempo, a uma dada pressão de injeção. O ensaio deverá ser realizado para vários estágios de pressão. O procedimento é baseado no Boletim nº 03 da ABGE – Manual de Sondagens.

3.2.1 Equipamentos

- Bomba de água com capacidade de vazão de 120 L/min, a uma pressão de 1 Mpa. A critério da fiscalização, poderá ser utilizada uma bomba com capacidade de vazão de 60 L/min, caso as absorções sejam compatíveis com estas vazões;
- Hidrômetro com divisões de escala em litros. Deve ser sensível para detectar uma vazão mínima de 3L/min. A capacidade nominal do hidrômetro deve ser de 3 ou 5 m³/h para vazões até 60 L/min e 7 m³/h para vazões entre 60 a 120 L/min;
- Manômetro com capacidade e divisões de escala adequadas às pressões a serem aplicadas. A máxima pressão de operação deve ser 75% do valor máximo da escala do manômetro;
- Obturador de borracha tipo pneumático ou mecânico simples. O comprimento mínimo deve ser de 30 cm, e o diâmetro externo deve ser 5 mm menor que o furo para obturadores mecânicos e apresentar comprimento mínimo de 60 cm para obturadores pneumáticos;
- Canalização, mangueira, luvas e cotovelos em boas condições, com luvas e estanques e diâmetro mínimo de 25, 4 mm (1");
- Estabilizadores de pressão;
- Transdutores de pressão.

3.2.2 Ensaio de perda de carga

O ensaio de perda de carga consiste numa simulação, em superfície, do ensaio de perda d'água. Este ensaio tem por objetivo a determinação da perda de pressão provocada pelo atrito da água com as paredes da tubulação. Será feito um ensaio a cada campanha de sondagem, onde serão medidas a pressão e a vazão em estágios de aproximadamente 10, 20, 40 e 60 l/min., para comprimento de tubulação de L, 3/4 L e 1/2 L.

Com os resultados obtidos, deverá ser construído um ábaco relacionando vazão, comprimento da tubulação e perda de carga, que será utilizado na correção da pressão, efetivamente aplicada no trecho do furo ensaiado por perda d'água.

O problema da perda de carga pode ser eliminado com a utilização de um transdutor posicionado no trecho do ensaio. Neste caso não há necessidade de realizar o ensaio de perda de carga. Ressalta-se que o transdutor registra toda a pressão a que está submetido. Portanto, para a determinação da pressão efetiva de ensaio, dever ser subtraída a pressão correspondente ao nível d'água ou piezômetro, isso quando o trecho do ensaio estiver na porção saturada do maciço.

3.2.3 Trecho e pressão do ensaio de perda d'água

Os ensaios deverão ser executados à medida que ocorrerem os avanços da sondagem, em trechos de aproximadamente 3,0 m de comprimento, a contar do início da efetiva utilização do processo rotativo.

A fiscalização poderá solicitar a execução de ensaios adicionais em trechos de diferentes comprimentos, tanto na porção final da sondagem como acima dela. Neste caso deverá ser empregado obturador duplo.

As pressões do ensaio serão aplicadas num ciclo de 5 estágios, a saber: pressão mínima, pressão intermediária, pressão máxima, pressão intermediária e pressão mínima. As pressões em cada estágio deverão obedecer aos seguintes critérios:

- Pressão máxima: 0,25 kg/cm² por metro de profundidade, na vertical, a contar da boca do furo até a metade do trecho ensaiado. No caso de rocha friável ou muito alterada, será usado 0,15 kg/cm²/m;
- Pressão intermediária: igual à metade da pressão máxima;
- Pressão mínima: igual à pressão exercida por uma coluna d'água interna à tubulação do obturador, de aproximadamente 1,0 m de altura acima da boca do furo.

As pressões máximas e intermediárias deverão ter seus valores arredondados até a divisão mais próxima do manômetro.

3.2.4 Procedimento

Inicialmente, deverá ser realizada uma lavagem cuidadosa do furo até que a água de circulação se apresente limpa e isenta de detritos. Terminada a limpeza, deverá ser instalado o obturador do tipo conveniente, com a extremidade inferior da porção vedante no limite superior do trecho a ser ensaiado. Não deverá ser aplicada pressão no furo antes do início do ensaio.

A técnica de ensaio com obturador duplo não deverá ser empregada como alternativa de ensaio com obturador simples. O seu emprego deverá ser restrito às situações em que forem necessários ensaios complementares em trechos acima da posição do fundo do furo.

Ao ser aplicada a pressão mínima do primeiro estágio, deverá ser avaliada a eficiência da vedação do obturador, através da medida do nível d'água no furo, que geralmente sobe quando o obturador não está vedando. Se exequível, para facilitar esta observação, recomenda-se o enchimento do furo com água até a boca do revestimento após a instalação do obturador. Em caso de impossibilidade de vedação devido ao fraturamento da rocha ao redor do trecho de aplicação do obturador, deverão ser utilizados obturadores de maior comprimento. Persistindo a impossibilidade de vedação, o obturador deverá ser deslocado para cima, até nova posição onde a vedação for eficiente.

Assegurada a vedação do trecho, será iniciada a aplicação dos estágios de pressão. A pressão mínima do 1º e 5º estágios será obtida pela manutenção da coluna d'água na tubulação do obturador (nos moldes do ensaio de infiltração), e as demais pressões serão dadas pela bomba d'água. Em cada estágio, após a estabilização dos valores de pressão e vazão, deverão ser feitas 10 medidas de seus valores em intervalos de 1 minuto.

Entende-se que os valores de absorção d'água e pressão estarão estabilizados quando:

- Não for observada uma variação progressiva nos valores medidos;
- A diferença entre as leituras e o seu valor médio for inferior a 20% do valor médio;
- A oscilação da pressão manométrica não exceder a 10% do valor da pressão manométrica de ensaio.

Na fase decrescente do ciclo de pressão, se ocorrer retorno da água injetada, a tubulação deverá ser aberta, e serão anotados os seguintes valores:

- Volume total de água retornada até o total alívio de pressão de água no trecho ensaiado;
- Pressão aplicada no trecho.

Para a medida do volume de água retornada, poderá ser utilizado o próprio hidrômetro, com conexão invertida para garantir seu perfeito funcionamento, ou tambor de volume conhecido. Após as medidas do volume retornado, o ensaio deverá ser retomado a partir do estágio subsequente àquele que deu origem ao retorno da água. Quando, mesmo com a vazão máxima da bomba, não for atingido o valor da pressão de qualquer um dos estágios, deverão ser feitas leituras dos valores de pressão e vazão atingidos, durante 10 minutos, a cada minuto. Além do registro deste caso de absorção total da vazão da bomba, deverão ser executados e registrados os demais estágios com pressão inferior ao daquela cuja pressão não foi atingida.

3.2.5 Apresentação dos resultados

Os resultados dos ensaios deverão ser apresentados no mesmo perfil da sondagem mista. Deverão conter, em valores numéricos: a pressão efetiva em kg/cm^2 , a absorção em L/min.m e a perda d'água específica em L/min.m/kg/cm^2 , assinalados em três colunas justapostas, limitadas acima e abaixo por linhas horizontais na posição dos limites do intervalo ensaiado. O coeficiente de permeabilidade do solo (k) será dado em cm/s .

4 AMOSTRAGEM

A coleta de amostras deformadas e indeformadas deve ocorrer conforme exposto na Tabela 4-1.

Tabela 4-1 – Detalhamento da coleta de amostras

FURO	AMOSTRAS DEFORMADAS		AMOSTRAS INDEFORMADAS		AMOSTRAS INDEFORMADAS - DENISON	
	QUANTI-DADE	PROF. ESTIMADA (m)	QUANTI-DADE	PROF. ESTIMADA (m)	QUANTI-DADE	PROF. ESTIMADA (m)
SM-01	1	10,0	-	-	1	10,0

FURO	AMOSTRAS DEFORMADAS		AMOSTRAS INDEFORMADAS		AMOSTRAS INDEFORMADAS - DENISON	
	QUANTI-DADE	PROF. ESTIMADA (m)	QUANTI-DADE	PROF. ESTIMADA (m)	QUANTI-DADE	PROF. ESTIMADA (m)
SM-03 ¹	3	15,0 / 50,0 / 55,0	-	-	3	15,0 / 50,0 / 55,0

4.1 AMOSTRAS DEFORMADAS

As amostras deformadas são aquelas extraídas por raspagem ou escavação, ou através da coleta do material proveniente da sondagem, o que implica na destruição da estrutura e na alteração das condições de compactidade ou consistência naturais do material.

As amostras deformadas coletadas nas sondagens devem obedecer ao estabelecido na Tabela 4-1e aos critérios apresentados no item 2.2.3, acondicionadas em sacos de lona ou plástico resistente em quantidade não menor de 30 kg. Para estas amostras deve-se ter:

- Identificação por duas etiquetas de papel, envolvidas por um plástico ou uma camada plástica, uma externa e outra interna ao recipiente de amostragem, contendo:
 - Nome da obra e cliente;
 - Nome do local;
 - Número do poço ou trincheira;
 - Intervalo de profundidade da amostra; e
 - Data de coleta.

4.2 AMOSTRAS INDEFORMADAS

Amostras indeformadas são aquelas extraídas com o mínimo de perturbação possível, de modo a preservar as estruturas, condições de umidade, compactidade e consistência naturais do material e deve seguir as seguintes recomendações.

DENISON

- Os procedimentos a serem seguidos na coleta das amostras indeformadas em barrilete especial tipo Denison devem seguir o exposto no Procedimento DNER-PRO-002/94;
- A perfuração deve estar isenta de material solo e o solo a ser coletado não pode ser afetado pela operação de limpeza do furo. A parede íntera do tubo onde se alojará a amostra deve ser untada com óleo ou graxa, para facilitar a sua extração no laboratório;
- A amostra deve ser cortada sempre com comprimento 5 cm menor que o da camisa;

¹ Para os furos SM-03 e SM-05, deverão ser coletadas 1 amostra do material de aterro da barragem e 2 amostras de camadas da fundação. Caso necessário, as profundidades de coleta poderão ser alteradas de modo a atender a esse critério.

- As amostras devem ser devidamente identificadas.

A responsabilidade de transporte das amostras ao laboratório, tanto deformadas quanto indeformadas, será da CESAMA.

5 ESPECIFICAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS LABORATORIAIS

Os ensaios laboratoriais programados para subsidiar a avaliação da Barragem São Pedro deverão ser realizados conforme preconizado nas normas brasileiras em vigor ou normas e referências internacionais semelhantes.

Para as amostras coletadas, os ensaios previstos são:

- | | |
|---|-----------------------|
| • Granulometria por peneiramento e sedimentação | NBR 7181 |
| • Massa Específica real dos grãos | NBR 6508 |
| • Limites de Liquidez | NBR 6459 |
| • Limite de Plasticidade | NBR 7180 |
| • Massa Específica aparente | NBR 10838 |
| • Permeabilidade | NBR 14545 / NBR 13292 |
| • Adensamento Edométrico Unidimensional | NBR 12007 |
| • Ensaio Triaxial CIUsat | ASTM D4767 |

As quantidades estão expressas na Tabela 5-1

Tabela 5-1 – Detalhamento dos ensaios de laboratório

Furo	Granulometria completa	Massa esp. real dos grãos	Limites Atterberg	Massa específica aparente	Permeabilidade	Adensamento	Triaxial CIUsat ⁽¹⁾
SM-01	1	1	1	1	1	-	1

Nota: (1) Cada ensaio triaxial será realizado com 04 CPs, com tensões de confinamento de 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa e 400 kPa.

5.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Os resultados a serem entregues pelo laboratório deve conter a curva granulométrica em um gráfico semi-logarítmico entre o diâmetro dos grãos e a porcentagem de material passante acumulado nas peneiras; uma tabela com os diâmetros das peneiras e as respectivas

porcentagens retidas e retidas acumuladas da amostra; bem como uma tabela com os dados do processo de sedimentação.

5.2 MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS

O valor final da massa específica, média obtida pelos ensaios realizados, deve ser expresso com três algarismos significativos, e, além dele, outros dados devem ser apresentados pelo laboratório, como por exemplo, a temperatura da água, a fórmula utilizada na determinação da massa específica, as massas do picnômetro, do picnômetro com água, e do picnômetro com água e com solo.

5.3 LIMITES DE ATTERBERG

Os resultados apresentados pelo laboratório devem conter os valores dos limites de plasticidade e de liquidez, expressos em porcentagem, aproximados para o número inteiro mais próximo; o valor do índice de plasticidade; o gráfico do limite de liquidez (umidade versus número de golpes); e uma foto do material ensaiado, caso o mesmo tenha sido considerado não plástico.

5.4 MASSA ESPECÍFICA APARENTE

A massa específica aparente natural do solo deve ser expressa com três algarismos significativos, em g/cm^3 , e o teor de umidade do solo, com aproximação de 0,1%.

5.5 PERMEABILIDADE A CARGA VARIÁVEL

Os resultados deverão apresentar: o coeficiente de permeabilidade $K_{\text{médio}}$, referente à temperatura da água na realização do ensaio; o coeficiente de permeabilidade $K_{20^\circ\text{C}}$ médio, referente à temperatura de 20°C , ambos expressos de forma exponencial e em cm/s ; as características geométricas do corpo de prova e do permeâmetro utilizado; os índices físicos da amostra; o volume de água percolado; e a variação da altura do corpo de prova, do $K_{20^\circ\text{C}}$, e do K para os vários instantes em que forem efetuadas as medidas.

5.6 ADENSAMENTO EDOMÉTRICO

Os corpos de prova deverão ser ensaiados para as amostras selecionadas da área da fundação. Os materiais de fundação deverão ser talhados diretamente a partir do bloco, na direção topo-base.

Cada corpo de prova deverá ser submetido a 13 estágios de carregamento e descarregamento, sendo as pressões especificadas: 6,25 / 12,5 / 25 / 50 / 100 / 200 / 400 / 800 / 1600 kPa, para carregamento; e 1600 / 800 / 400 / 200 kPa, para descarregamento.

Cada aplicação de incremento de carga deverá ocorrer em um intervalo de tempo não superior a dois segundos e sem impacto significativo.

A inundação do corpo de prova deverá ocorrer desde a primeira etapa de carregamento. Recomenda-se deixar o corpo de prova inundado pelo menos 24 horas antes de iniciar o ensaio, para assegurar um alto grau de saturação. Os resultados conterão uma curva semi-logarítmica do índice de vazios versus pressão, indicando o índice de vazios inicial, a pressão de pré-adensamento, o índice de compressão e descarregamento, a condição do ensaio (sem inundação ou inundado), a curva do coeficiente de adensamento (C_v) em função do logaritmo da pressão média no estágio e a curva logaritmo do coeficiente de permeabilidade em função do índice de vazios. Deverá ser apresentada também a curva de deslocamento (altura do corpo de prova) vs logaritmo do tempo para cálculo de C_v pelo método de Casagrande em cada estágio ou a curva deslocamento vs raiz do tempo para cálculo de C_v pelo método de Taylor em cada estágio, as características geométricas da amostra e do anel de adensamento, os índices físicos da amostra iniciais e finais, bem como uma tabela com as variações de pressão, de altura do corpo de prova, do índice de vazios, t_{90} ou t_{50} , dependendo do método de cálculo de C_v e dos coeficientes de variação volumétrica (mv), de compressibilidade (av), de adensamento (C_v) e de permeabilidade (k). Os procedimentos do ensaio devem atender o preconizado na norma NBR 12007.

5.7 ENSAIO TRIAXIAL CIU_{sat}

Para o ensaio triaxial CIU, recomenda-se seguir a norma internacional ASTM D4767. Devem ser ensaiados 04 corpos de prova (CPs) sob as tensões confinantes de 75, 150, 300 e 600 kPa para definir a envoltória de resistência.

Para o ensaio realizado com as amostras indeformadas, os corpos de prova deverão ser talhados na direção vertical (topo-base) e apresentar, no mínimo 35 mm de diâmetro.

Os corpos de prova devem ter 35 mm ou 50 mm de diâmetro e altura de 2,0 a 2,5 vezes o diâmetro, considerando que a maior partícula deve ser menor que 1/6 do diâmetro do corpo de prova.

Os corpos de prova deverão ser montados nas células de compressão triaxial ficando entre pedras porosas de areia ou de latão fervidas e escovadas no topo e na base e papel filtro antes de cada ensaio, conectados com dispositivos de drenagem, medidores de pressão neutra e aplicação de contrapressão na base. Os corpos de prova deverão ser submetidos à saturação por percolação e por contrapressão.

A saturação por percolação é feita por meio de uma coluna d'água de 2 m de altura preferencialmente, dependendo da rigidez do corpo de prova. A percolação deve ser no sentido da base para o topo, de modo a eliminar ou diminuir o volume de ar contido nos vazios e elevar o grau de saturação.

Já para a saturação por contrapressão, o incremento inicial deve ser da ordem de até 0,50 kgf/cm². Os incrementos seguintes devem variar entre 0,35 kgf/cm² até 1,40 kgf/cm² e não precisam manter uma diferença constante entre a tensão confinante e a contrapressão, desde que essa diferença não seja menor que 0,35 kgf/cm² até atingir uma contrapressão máxima

de 2,00 kgf/cm² a 4,00 kgf/cm², conforme a necessidade do corpo de prova de atingir a saturação completa ou atingir o valor de pressão neutra previsto nos estudos de projeto.

Na fase de saturação o valor do parâmetro B de poropressão de Skempton ($B = \Delta\mu / \Delta\sigma_3$) não deve ser inferior a 98%, e o parâmetro B deve permanecer inalterado com incrementos na contrapressão.

O adensamento deverá ser feito submetendo os corpos de prova às suas respectivas tensões confinantes efetivas de ensaio, deixando drenar pelo topo e pela base durante 24 horas, fazendo o controle da variação de volume em buretas graduadas conectadas às células e testes de pressão neutra nula. Caso se observe que o corpo de prova continue adensando por mais que 24 horas, continuar fazendo leituras até que ocorra estabilização do mesmo.

O rompimento deverá ser feito em prensa de deformação controlada, com velocidade de deformação da ordem de 0,09 mm/min, sendo conduzido até uma deformação axial específica de 20%. Durante o rompimento será feita medidas das pressões neutras desenvolvidas, para determinação dos parâmetros de resistência em termos de tensões efetivas.

Os resultados a serem apresentados pelo laboratório devem conter, para cada tensão confinante, uma tabela com as variações de deformação, de pressão neutra e acréscimo de tensão axial para os vários instantes em que forem efetuadas as medidas; a envoltória de Mohr-Coulomb, em termos de tensões totais e efetivas; o gráfico p versus q para tensões totais e efetivas; a curva tensão-deformação; a curva pressão neutra-deformação; os índices físicos, a condição de moldagem e as características geométricas do corpo de prova; e uma foto do corpo de prova antes e após ruptura.

Os procedimentos do ensaio devem atender o preconizado na norma ASTM-D476.