

PLÍNIO FABRÍCIO MENDONÇA FRAGASSI

**Estudo da Erodibilidade dos solos Residuais de
Gnaiss da Serra de São Geraldo e de Viçosa (MG)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2001**

PLÍNIO FABRÍCIO MENDONÇA FRAGASSI

**Estudo da Erodibilidade dos solos Residuais de
Gnaisse da Serra de São Geraldo e de Viçosa (MG)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 14 de maio de 2001.

Prof. Frederico Garcia Sobreira

Prof. Carlos Alexandre Braz de Carvalho

Prof. Roberto Francisco de Azevedo

Prof. José Camapum de Carvalho

Prof. Enivaldo Minette
(Presidente da Banca)

À minha Família, com muito amor.

AGRADECIMENTO

Ao Professor Eduardo Marques, pela orientação, pelos conhecimentos e pelo empenho na realização dos trabalhos.

Ao Professor Roberto Azevedo, pelo apoio e compreensão.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Civil de Viçosa, pelos conhecimentos e aconselhamentos.

Ao Prof. Enivaldo Minette, pela confiança depositada em mim, encaminhando-me ao mestrado.

Aos funcionários do Laboratório de Geotecnia, pelo apoio e atenção ao longo do Curso.

Aos meus Colegas de Curso, pela amizade e companheirismo.

Aos meus Irmão de república Danilo, André e Amaury, pelos conselhos e aprendizados.

À Coordenação da Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade de Viçosa, pela oportunidade de realização do Curso.

Ao Convênio de Bolsas de Estudo e apoio à Pesquisa FAPEMIG/FIEMG.

BIOGRAFIA

Plínio Fabrício Mendonça Fragassi, nasceu em 03 de maio de 1974, em Ilhéus, BA. Em dezembro de 1997, formou-se em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa. Atualmente atua como coordenador em empresa de projetos rodoviários, infraestrutura urbana, estudos ambientais e aerofotogrametria.

ÍNDICE

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. OBJETIVOS.....	17
1.2. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	18
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1. EROSÃO DO SOLO: CONCEITOS BÁSICOS.....	20
2.2. FATORES CONDICIONANTES NO PROCESO EROSIVO.....	28
2.3. A DINÂMICA DO PROCESSO EROSIVO	29
2.4. PRESSÃO TRATIVA E RESISTÊNCIA DO SOLO.....	31
2.5. ERODIBILIDADE DOS SOLOS.....	33
2.6. ENSAIO INDERBITZEN	37
2.7. DESCRIÇÃO DA PEDOLOGIA REGIONAL.....	40
2.7.1. LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (LV).....	40
2.7.2. CAMBISSOLO (CB).....	41
2.7.3. PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO (PV).....	42
2.7.4. PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO COM B BRUNO MICÁCEO (PVB)	42
2.7.5. CAMBISSOLO LATOSSÓLICO (CL).....	43
2.7.6. LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO VARIAÇÃO UMA (LU)	43
2.7.7. SOLOS HIDROMÓRFICOS (HI).....	43
3. MATERIAIS E MÉTODOS	45
3.1. CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS AMOSTRADAS.....	45
3.2. AMOSTRAGEM DE MATERIAIS.....	51
3.3. ENSAIOS LABORATORIAIS	53
3.3.1. ENSAIOS FÍSICOS CONVENCIONAIS	53
3.3.2. ENSAIOS ESPECIAIS	54
3.3.3. ENSAIOS QUÍMICOS DO SOLO.....	55
3.4. ENSAIO DE CAMPO.....	56
3.4.1. ENSAIO DILATOMÉTRICO (DMT)	57
3.4.1.1. Resumo do ensaio	58

3.4.1.2.	Procedimento de redução dos dados	60
3.4.1.3.	Parâmetros intermediários	61
3.4.1.4.	Correlações do DMT com propriedades de engenharia dos solos	63
3.5.	EXECUÇÃO DOS TRABALHOS	64
4.	NOVA VERSÃO DO APARELHO DE INDERBTZEN	67
4.1.	INTRODUÇÃO	67
4.2.	PROJETO E CONSTRUÇÃO DO APARELHO INDERBITZEN.....	68
4.3.	METODOLOGIA DO ENSAIO INDERBITZEN.....	76
4.3.1.	INTRODUÇÃO	76
4.3.2.	PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS.....	77
4.3.3.	NORMALIZAÇÃO DO ENSAIO.....	78
4.3.4.	DESCRIÇÃO DO ENSAIO	78
4.3.5.	MATERIAL NECESSÁRIO	80
4.4.	RECOMENDAÇÕES PARA EXECUÇÃO DO ENSAIO.....	81
5.	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	83
5.1.	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	83
5.2.	ENSAIOS ESPECIAIS.....	91
5.3.	ENSAIOS QUÍMICOS.....	97
5.4.	ENSAIOS DE CAMPO	98
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	104
6.1.	CONCLUSÕES.....	104
6.2.	RECOMENDAÇÕES	106
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
	APÊNDICE.....	111

RESUMO

FRAGASSI, Plínio Fabrício Mendonça, M. S., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2001. **Estudo da Erodibilidade dos solos Residuais de Gnaisse da Serra de São Geraldo e de Viçosa (MG)**. Orientador: Eduardo Antonio Gomes Marques. Conselheiros: Dario Cardoso de Lima e Enivaldo Minette.

Este trabalho apresenta os resultados obtidos no desenvolvimento de um estudo de caracterização da erodibilidade e da influência de algumas propriedades geotécnicas de solos residuais da região de Viçosa (MG). Procurou-se também obter correlações entre estas propriedades geotécnicas e a erodibilidade. Durante a execução dos trabalhos de pesquisa foi projetada e construída, ainda, uma nova versão do aparelho desenvolvido por Inderbitzen (1961), utilizado na caracterização da erodibilidade de solos. O equipamento foi desenvolvido no Laboratório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil na Universidade Federal de Viçosa (UFV), de maneira a atingir alguns objetivos, tais como: permitir facilidade de uso e operação, ter baixo custo, permitir a utilização de materiais de fácil aquisição e permitir a resolução de alguns problemas existentes nas versões convencionais, dentro os quais podemos citar a concentração do fluxo na rampa de descida d'água e uma maior liberdade para utilizar inclinações de rampa aleatórias. Para a caracterização da correlação entre a erodibilidade e os parâmetros geotécnicos, selecionou-se dois tipos de solos de gnaisse, os residuais maduros e os residuais jovens, localizados no Município de Viçosa e na Serra de São Geraldo. Nas amostras foram realizados ensaios de caracterização física, ensaios de campo e ensaios químicos. Observou-se que vários são os fatores que influenciam a erodibilidade dos solos, como, por exemplo, a absorção de sódio, que teve influência direta na expansibilidade LNEC; a plasticidade; teor de matéria orgânica; etc. Entretanto, a granulometria mostrou ser a característica com a maior parcela de influência na erodibilidade dos solos, podendo ser parâmetro individual para uma avaliação prévia da erodibilidade. Enfim, concluiu-se que os solos residuais jovens, com a presença de uma granulometria constituída por areia fina e silte, são solos mais

susceptíveis à erosão; em contrapartida aos solos residuais maduros, com granulometria predominantemente argilosa.

ABSTRACT

FRAGASSI, Plínio Fabrício Mendonça, M. S., Universidade Federal de Viçosa, may 2001. **Erodibility study of gneissic residual soils from São Geraldo and Viçosa Region (Minas Gerais State, Brazil)**. Adviser: Eduardo Antonio Gomes Marques. Committee Members: Dario Cardoso de Lima e Enivaldo Minette.

This work presents the results obtained throughout a characterization study of soil erodibility and the main geotechnical factors that can influence this property in some residual soils from Viçosa region, Minas Gerais State, Brazil. During the study a new version of Inderbitzen Apparatus to characterize erodibility was projected and constructed. The equipment was developed at Geotechnical Laboratory of Civil Engineering Department of Viçosa Federal University with the aim of achieving some goals: easiness of use and operation, low cost, use of regular materials, versatility of slope inclination and to avoid water flow concentrations. Two gneissic residual soil types, one “mature” and other “young”, were selected to a physical characterization and field and chemical tests. It can be observed that several factors influence soil erodibility such as sodium absorption, which has had direct influence over expansibility (LNEC); plasticity, organic matter content, etc. Meanwhile, grain size distribution proved to be the main characteristics that influences erodibility of studied soils. This parameter can be used as a individual one in order to previously characterize erodibility. Finally, it can be concluded that the “young” residual

soils, mainly composed by fine sand and silt, are the most erodible soils when compared to the argillaceous “mature” ones.

INTRODUÇÃO

A erosão hídrica acelerada, processo de rápida desagregação e remoção do solo pela ação das águas das chuvas, constitui um importante problema geotécnico-ambiental. Os solos de muitos estados do Brasil, e mais particularmente de certas regiões do estado de Minas Gerais, apresentam muitos processos desta natureza. A não execução de obras de proteção contra a erosão de um talude de solo leva, em geral, com a progressão do fenômeno, a um estado irreversível, como mostra a Figura 1.1. Tal estado de desagregação implica, muitas vezes, na execução de novas obras de terraplanagem ou mesmo de custosas contenções.

Assim sendo, no caso de obras civis é necessário que se tenha conhecimento da tendência dos solos, quanto à sua susceptibilidade à perda de solo, prevenindo-se adequadamente o processo erosivo.



Figura 1.1- Processos erosivos no Município de Resende Costa-MG.

O estudo da erosão do solo recai necessariamente sobre as condições de relevo, clima, solo e ação antrópica. As condições de relevo e clima são características geográficas sobre as quais já se tem um bom domínio de conhecimentos no campo da erosividade, entretanto, muito ainda deve ser feito. De qualquer forma, estes fatores, de maneira geral, não podem ser controlados. As ações antrópicas podem ser controladas e planejadas considerando-se os condicionantes naturais e fatores de interferência no processo erosivo. Quanto aos mecanismos de erosão, o solo assume o papel primordial, pois suas características e a forma de interação com os outros fatores têm desafiado os pesquisadores na busca do entendimento do fenômeno e da formulação de modelos que permitam prever e controlar este processo (CONCIANI, 1998).

A erodibilidade dos solos, propriedade que retrata a facilidade com que partículas são destacadas e transportadas, necessita de métodos adequados

que a caracterizem (BASTOS et al., 1998). Segundo FREIRE et al. (1998), os valores da erodibilidade dos solos, obtidos por métodos indiretos, nem sempre explicam o volume de sedimentos nas margens dos cursos d'água e os sinais de perda de solo, em muitos locais.

Devido à extensão territorial e à diversidade edáfica que o Brasil apresenta, a erodibilidade do solo constitui-se no parâmetro de custo mais elevado e moroso para se determinar. Segundo DERNANDIN (1990), a obtenção indireta desse fator por meio de modelos matemáticos que empregam parâmetros físicos, químicos e mineralógicos do solo, tem tido sucesso nos EUA. A extrapolação desses modelos para os solos brasileiros não tem apresentado resultados satisfatórios.

ALCÂNTARA (1997) verificou que, para alguns solos do Estado de São Paulo, não há relação entre os índices físicos e a erodibilidade, quer avaliada em campo ou medida em laboratório. O mesmo autor observou que a erodibilidade do solo correlaciona-se muito bem com suas características mecânicas e mineralógicas.

OBJETIVOS

Objetiva-se com este trabalho avaliar e quantificar, através do aparelho de Inderbitzen, o grau de erodibilidade dos solos da Serra de São Geraldo e do regolito de gnaiss do Município de Viçosa - MG, e obter correlações de erodibilidade, partindo-se da hipótese de que esta característica do solo possa ser correlacionada indiretamente por meio dos índices físicos, comportamento mecânico, e químicos do solo, obtidos em campo e em laboratório.

Em síntese, o presente trabalho tem por objetivo apresentar as seguintes contribuições:

- identificação das principais propriedades mecânicas, físicas e mineralógicas dos solos presentes na Serra de São Geraldo e do regolito de gnaiss no Município de Viçosa;
- desenvolvimento, confecção, teste e apresentação de uma nova versão do aparelho de Inderbitzen;
- avaliação da susceptibilidade à erosão superficial dos solos estudados através do ensaio de Inderbitzen;
- caracterização de parâmetros hídricos e análise da influência do nível d'água no processo erosivo na Serra de São Geraldo, medidos através de piezômetros.

A realização deste trabalho utilizou como objeto de estudo uma voçoroca da Serra de São Geraldo e um talude de solo gnáissico no Município de Viçosa.

APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho de tese é dividido nos seguintes capítulos:

Capítulo 1: são apresentados os motivos que levaram ao desenvolvimento desta pesquisa e relaciona brevemente o plano de execução dos trabalhos que foram realizados;

Capítulo 2: preocupou-se em apresentar definições de erosão e processos erosivos, caracterização da erodibilidade e relações entre erodibilidade e propriedades geotécnicas;

Capítulo 3: são demonstrados os métodos de trabalhos e a caracterização da área de estudo;

Capítulo 4: foi destinado exclusivamente ao desenvolvimento da nova versão do aparelho de Inderbitzen, ou seja, a metodologia adotada para a sua construção;

Capítulo 5 são apresentados os resultados dos ensaios realizados, bem como suas análises;

Capítulo 6: neste capítulo são apresentadas as conclusões e recomendações observadas a partir dos resultados obtidos e da experiência acumulada durante as execuções dos ensaios;

Capítulo 7: traz as referências bibliográficas pesquisadas para a elaboração e fundamentação teórica da dissertação.

REVISÃO DE LITERATURA

EROSÃO DO SOLO: CONCEITOS BÁSICOS

O termo erosão é de origem latina, derivando do verbo *erodere*, que significa corroer, desgastar. O glossário de Termos Técnicos de Geologia de Engenharia da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE (1985), define erosão como um conjunto de fatores físicos, químicos ou biológicos, naturais, responsáveis pelo modelamento do relevo terrestre, na maioria diretamente ligados ao clima (chuva, rios, água subterrânea, correntes marinhas, ondas, geleiras, ventos). Pode ser acelerada artificialmente pelo homem, por desmatamentos, cortes de estrada ou outras modificações no manto de intemperismo em geral.

A erosão é comumente diferenciada de acordo com o agente erosivo (vento, água, gelo, gravidade, etc.), tipo ou origem (erosão por embate, erosão laminar, erosão linear, erosão em sulcos, ravinas ou voçorocas) e natureza (geológica e acelerada).

CERRI *et al.* (1997) definem erosão geológica (ou natural) como sendo um processo de desagregação e transporte de materiais do solo pelos agentes erosivos, de forma lenta e contínua, configurando neste caso um processo natural de denudação e evolução da superfície da Terra. Os mesmos autores

conceituam a erosão acelerada como sendo um processo induzido principalmente, pela intervenção humana (antrópica), causando desequilíbrio nas fases de erosão (natural) e sedimentação, caracterizando-se como um processo rápido e altamente destrutivo.

Nas matas, grande parte da água fica retida nas folhas, que ainda desempenha um importante papel de diminuir a velocidade de queda das gotas de água, cujo impacto favorece a remoção das partículas. Também a trama das raízes favorece a retenção do solo, motivo pelo qual se torna mínimo o processo erosivo. Num caso extremo, que é o de um algodão, a perda de solo é 10.000 vezes maior, como mostra a Figura 2.1, se não forem executados terraceamentos seguindo as curvas de níveis do terreno.

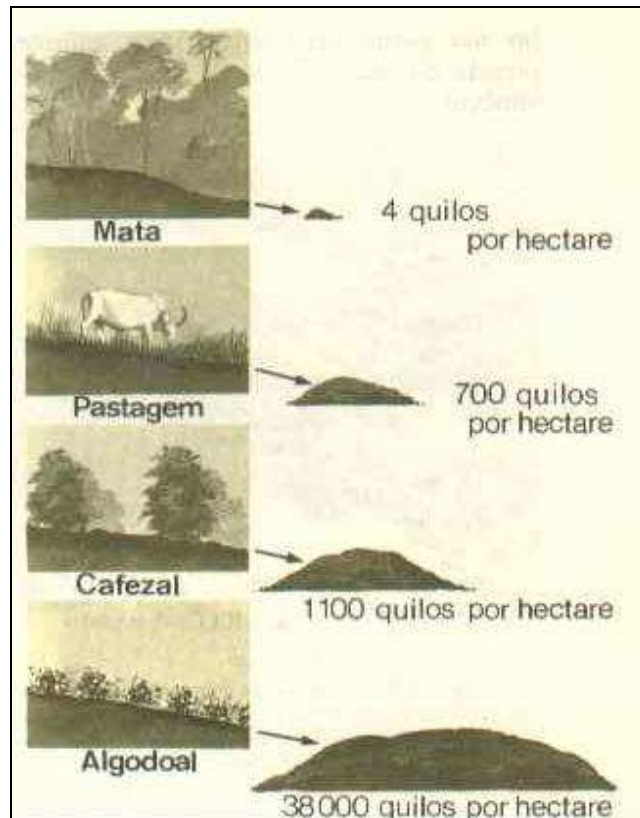


Figura 2.1 - Esquema da perda de solo anual por hectare. O alto valor para o algodoeiro deve ser motivado pela aração e pelas contínuas capinas que tornam o solo fofo e facilmente erodível (LEINZ, 1978).

O agente erosivo é o responsável pela desagregação, transporte e deposição do material erodido, ou seja, é ele quem desenvolve todo o processo erosivo. No nosso país o agente mais importante e de efeito mais prejudicial é a água, originando a denominada erosão hídrica. Além da erosão hídrica, os processos erosivos podem ser distribuídos em erosão eólica e erosão glacial, respectivamente provocado pelo vento e gelo.

Segundo o Ministério de Obras Públicas e Transportes da Espanha - MOPT (1992), através do Guia para a Elaboração de Estudos do Meio Físico, a ação da água no solo se realiza de duas formas:

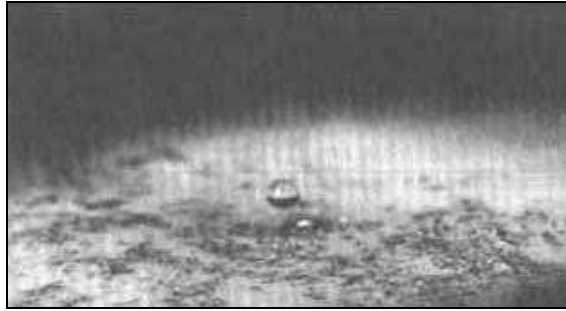
- Ação superficial: traduz-se em uma desagregação, dispersão e arraste das partículas do solo.
- Ação em profundidade: a atuação das águas cria uma condição propícia no perfil do solo para que este se desmorone pela ação da gravidade.

Uma terceira ação é a que provoca o fenômeno da esquelização do solo, comprometendo a estabilidade de encostas.

Conforme a origem da erosão hídrica, pode-se apresentar diferentes classificações propostas por diversos autores, como aponta CERRI *et al.* (1997).

Adotou-se a classificação de FENDRICH *et al.* (1984), considerando-se que é uma classificação simples e completa, atendendo as necessidades deste trabalho.

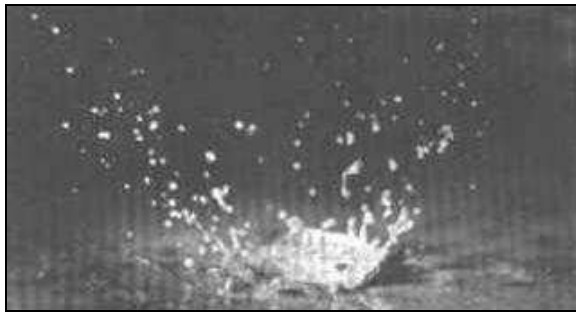
FENDRICH *et al.* (1984), dividiram erosão hídrica em dois grupos: erosão superficial e erosão subterrânea. A erosão superficial causada pela água em um solo exposto, ou parcialmente exposto, se dá em três estágios distintos (embate, laminar, sulcos e voçoroca). Esses estágios procedem, no tempo de recorrência, para um dado ponto em uma dada extensão, e na progressão do declive do terreno, para um tempo particular. A erosão por embate, decorrente da energia de impacto das gotas d'água de encontro ao solo, que além de desintegrar parcialmente os agregados naturais, libertam as partículas finas projetando-as no ar, tem seu efeito destruidor mostrado na Figura 2.2. Este estágio de erosão superficial apresenta maiores magnitudes no intervalo de tempo decorrido entre o início da precipitação e a formação do escoamento superficial.



A



B



C

Figura 2.2 - Ação de uma gota de água ao cair sobre o solo desprotegido. Em **A**, a gota está prestes a tocar na superfície. Em **B**, os pingos de lama são expedidos radialmente após o impacto da gota, e em **C**, observa-se a "cratera" formada, enquanto os pingos de lama estão em vias de deposição (LEINZ, 1978).

A erosão laminar, também conhecida por erosão intersulcos, caracteriza-se pelo desgaste laminar causado pelas enxurradas que deslizam como lençol, desgastando a superfície do solo suave e uniformemente em toda

a sua extensão. A erosão dos terrenos varia largamente com sua susceptibilidade ao desgaste laminar, dependendo principalmente da declividade, clima e característica do solo. Para demais condições semelhantes as áreas com solos profundos e moderadamente profundos, bem como aquelas sujeitas à chuvas fortes e intensas, são provavelmente as mais difíceis de sofrer a erosão laminar. Nos locais em que os solos superficiais rasos repousam sobre subsolo argiloso denso ou outras camadas impermeáveis, o terreno é especialmente sujeito à esta forma de erosão. Solos siltosos, solos arenosos friáveis, e todos os solos deficientes em matéria orgânica são também excepcionalmente vulneráveis.

A erosão em sulcos consiste essencialmente no desenvolvimento de pequenos canais nos quais o fluxo superficial se concentra. Esta forma de erosão é mais fácil de ser observada do que a erosão laminar, contudo, é também freqüentemente negligenciada. Ordinariamente a erosão em sulco é considerada como o estágio mais avançado da erosão laminar. Pode-se dizer que nos solos jovens, arados, especialmente aqueles com alto teor de silte, onde as declividades são mais íngremes, com cerca de 4% ou 5% de inclinação, este tipo de erosão é a mais comum.

A voçoroca é um estágio da erosão avançado em sulco, sendo que a sua ocorrência deve-se principalmente à ação do homem no meio ambiente. De uma maneira geral o desenvolvimento da voçoroca se processa em quatro estágios:

- 1- erosão do canal onde há escoamento concentrado. Isto ocorre relativamente devagar, em função da maior ou menor resistência do solo.
- 2- há um incremento rápido em profundidade e largura, carreando uma grande parte do material. Forma-se a cabeceira da voçoroca, que move-se para montante.

- 3- há um declínio no aumento da voçoroca com o início de crescimento da vegetação.
- 4- estabilização da voçoroca, com um canal em seu interior locado em um perfil de equilíbrio, as paredes estáveis em que a vegetação, agora bem desenvolvida, segura o solo.

A partir do quarto estágio há um escoamento superficial sobre a cabeceira, devido à movimentação desta para montante, com conseqüente alteração da área contribuinte.

O desenvolvimento da voçoroca depende de uma série de processos e fatores que ocorrem simultaneamente ou em período de seu crescimento, que são:

- Erosão da cabeceira devido ao impacto das gotas de chuva;
- Erosão no canal (talvegue) causada pelo fluxo d'água concentrado;
- Perda de coesividade do solo no contorno da voçoroca devido a diferenças no aquecimento e umidade ao longo do tempo;
- Queda das paredes laterais devido à ação da água subterrânea.

A ação da água subterrânea é apontada como uma das principais causas do desenvolvimento de voçoroca, dependendo de como esta se situa em relação ao lençol freático. A lenta percolação da água se processa junto às paredes da voçoroca e vai solapando o pé do talude que dá sustentação a uma porção da parede. Quando esta porção cai, impede o fluxo da água subterrânea por um tempo até que se produza uma pressão de percolação que vença as resistências da parede, desagregando-a.

Segundo PRANDINI (1980), o lençol freático atinge o seu nível máximo de 4 a 6 meses após a época das chuvas. Assim, o efeito da água subterrânea pode ser mais intenso na estação seca, sendo que o material desabado vai se acumulando no pé do talude e a primeira chuva de proporções causará um escorregamento superficial que transportará este material para jusante.

A erosão tubular interna progressiva (piping) não se processa apenas nas proximidades do talude, ela pode se desenvolver a centenas de metros de distância da voçoroca, enfraquecendo o solo e estabelecendo regiões de percolação preferencial. Em razão disto existem vários relatos de afundamento de uma porção do solo em formato arredondado, formando fossas de pequenos diâmetros com vegetação superior ainda intacta. A origem destes fenômenos de subsidência pode ser também atribuída a antigos formigueiros cujos vazios favorecem a infiltração d'água e a erosão interna. Os futuros braços da voçoroca possivelmente tomarão esta direção preferencial.

Como foi visto anteriormente, a erosão subterrânea é uma divisão do processo erosivo hídrico. Este processo verifica-se quando as águas que se infiltram perfil adentro encontram uma camada impermeável que não podem transpor; neste caso as águas correm lateralmente sobre esta camada aflorando nas encostas, onde provocam solapamentos e desbarrancamentos com aberturas de sulcos ou valas.

A intensidade deste tipo de erosão, é diretamente proporcional à diferença de nível entre o fundo do vale e o nível normal do lençol freático superior, que atinge o seu máximo após 4 ou 5 meses de período chuvoso.

Com o aumento do fluxo subterrâneo, tem-se um aumento proporcional da velocidade de escoamento, que resulta em um aumento da pressão interna, provocando rupturas internas, com desmonte de maciços saturados que, pelo efeito da gravidade, caem no pé do talude.

O escoamento subterrâneo e contínuo vai atuando e arrastando novos grãos, provocando novas rupturas internas e desmontando novos maciços. Deste modo, surgem galerias e buracos que aumentam gradativamente em seção e em comprimento, até comprometerem a instabilidade do maciço superior, descalçando-o. Os maciços que caem, por sua vez, tampam as entradas das galerias e buracos represando as águas subterrâneas, que adquirem pressão até conseguir romper o maciço tombado.

Os talvegues principais dessas voçorocas, na estação das secas, se apresentam encharcados, soltos e movediços, dificultando a passagem pelos mesmos.

FATORES CONDICIONANTES NO PROCESO EROSIVO

O processo erosivo é condicionado por vários fatores, destacando-se como principais: a chuva, a cobertura vegetal, a topografia do terreno, a característica do solo, o manejo do solo e o clima. Sabe-se que a magnitude do processo erosivo depende da associação dos diversos fatores e, também, que cada fator tem sua parcela de contribuição. Entretanto, FENDRICH *et al.* (1984) enumeraram a agressão ao solo pela ação do homem, como sendo a causa inicial do processo erosivo acelerado e que a chuva é o principal agente erosivo que atua a seguir, através de seus vários escoamentos.

Sendo a ação do homem o fator principiante na deflagração dos processos erosivos, cita-se como principais agressões ao solo:

- Retirada da cobertura vegetal;
- Agricultura praticada irracionalmente;
- Formação de pastos com alta densidade de animais, proporcionando um pisoteio excessivo em determinadas direções;
- Aberturas de valetas perpendiculares às curvas de níveis;
- Abertura de estradas, sem o devido cuidado na execução das obras de drenagem;
- Execução de loteamentos, sem os cuidados devidos contra a erosão.

Como dito anteriormente, a chuva é o principal agente erosivo atuante no solo logo após a agressão do homem, e sua ação se dá de forma dinâmica através de uma série de fenômenos que, tomados individualmente, são os seguintes:

- Desagregação do solo, já desnudo, pelo impacto das chuvas;
- Desagregação e carreamento do solo superficial, pelo escoamento superficial direto, devido à chuva efetiva;
- Carreamento do solo subsuperficial, provocando erosão subterrânea progressiva, pela ação do escoamento subsuperficial;
- Capacidade de provocar deslizamentos e quedas, no pé dos taludes, devidos à movimentação das águas subterrâneas.

A cobertura vegetal é uma grande proteção contra o processo erosivo, sendo ela responsável, principalmente, pela dissipação da energia da chuva e do escoamento superficial. A cobertura vegetal funciona como um anteparo para as águas da chuva, interceptando-as e retendo-as, protegendo o solo contra a atuação das gotas e aumentando a resistência ao escoamento superficial, conseqüentemente favorecendo a deposição de partículas de solo por interceptação ou por redução de velocidade. Outro papel importante da vegetação é a retenção e aglutinação do solo por ação das raízes, formando agregados mais estáveis e aumentando a taxa de infiltração.

A DINÂMICA DO PROCESSO EROSIVO

Para MORTARI (1994), *in* Santos (1997), o processo erosivo é composto por três fases, nem sempre perceptíveis: desagregação, transporte e sedimentação. Na fase de desagregação ocorre o desprendimento das partículas do solo, seja pelo impacto das gotas de chuva, seja pelo escoamento superficial. O transporte vai depender do tamanho das partículas, da energia do agente transportador, da topografia e da presença ou não de obstáculos. A última fase do processo erosivo é a sedimentação, que se configura quando o agente transportador perde sua força.

Segundo ELLISON (1947), *in* Veiga (1988), a chuva atua no processo erosivo através do impacto das gotas d'água e na ação de umedecimento do

solo, por diminuir a coesão entre as partículas. O impacto das gotas da chuva atua de três formas distintas no processo erosivo. O primeiro efeito seria a desagregação das partículas de solo através do impacto, configurando-se a erosão por embate. A magnitude desse efeito dependerá do grau de unidade do solo. Outro efeito seria o transporte de partículas de solo por salpico, que assume dimensões consideráveis quando a declividade é mais acentuada ou quando as chuvas são acompanhadas por ventos em uma mesma direção. O terceiro efeito seria o fornecimento de energia na forma de turbulência na água de escoamento superficial, aumentando assim, sua capacidade de desagregação e transporte.

VEIGA (1988) atribui o surgimento do escoamento superficial, principalmente, à formação de um selo superficial causado pelo impacto das gotas de chuvas e pela perda de coesão do solo devido ao seu umedecimento. Tal selo superficial diminui substancialmente a capacidade de infiltração do solo, de forma que a taxa de precipitação passa a ser maior que a taxa de infiltração, promovendo a retenção de água em superfície e, conseqüentemente, aumentando o escoamento superficial.

Para o melhor entendimento do processo erosivo divide-se o escoamento superficial em duas partes: escoamento em sulcos e escoamento intersulcos. O escoamento nos intersulcos ocorre normalmente em curtas áreas, na forma de fluxo laminar turbulento. A partir disso, a água tende a concentrar em marcas de preparo de solo, microtopografia natural ou marcas de erosão anterior (MEYER *et al*, 1975, *in* Veiga, 1988). O escoamento intersulcos é o responsável pelo transporte dos sedimentos a partir das áreas entre os sulcos para dentro dos sulcos. Dependerá das características das gotas da chuva a capacidade de transporte do escoamento intersulcos que, promovendo turbulência nessa lâmina de água, determinam a quantidade de solo em suspensão (ELLISON, 1947, *in* Veiga, 1988). Por sua vez, o fluxo canalizado tem a capacidade de transportar o material recebido da erosão nos intersulcos, bem como de promover a desagregação das partículas de dentro dos sulcos. Com o aumento da lâmina de água, a turbulência causada pelas gotas de chuva vai diminuindo e, conseqüentemente, o escoamento em sulco

aumenta. Com o acréscimo da velocidade do escoamento, o aumento de volume d'água e o aumento da concentração de sedimentos, a desagregação das partículas do solo aumenta. Com relação à concentração de sólidos no escoamento, a desagregação aumenta até um certo patamar, correspondendo à máxima capacidade de transporte do fluxo. A partir disso, um aumento da concentração de sólidos nesse escoamento implicará, ocasionalmente, na deposição de material (VEIGA, 1988).

PRESSÃO TRATIVA E RESISTÊNCIA DO SOLO

Segundo VARGAS (1977), a pressão trativa de uma lâmina d'água é a responsável pela erosão superficial no solo e, para o caso de uma superfície ampla, inclinada uniformemente, a pressão trativa de uma lâmina de espessura h_w pode ser admitida como igual a:

$$T_0 = \gamma_w h_w \text{ sen } \beta \quad \text{Equação – 2.1}$$

Onde γ_w é a massa específica da água e β o ângulo de inclinação do talude. Em termos de coeficiente de "run-off" C , da intensidade de precipitação I (mm/min), da velocidade da água u (m/min) e da distância L da crista do talude, a fórmula anterior pode ser posta sob a forma:

$$T_0 = (C\gamma_w I \text{ sen } \beta)/u \quad \text{Equação – 2.2}$$

NACIMENTO E CASTRO (1974) apresentaram a resistência à erosão do solo como sendo função da resistência ao cisalhamento dada pela lei de Mohr-Coulomb e expressa pela equação abaixo:

$$s = c + \sigma \text{tg } \phi \quad \text{Equação – 2.3}$$

onde ϕ é o ângulo de atrito do solo e σ é a tensão normal na superfície de separação das camadas, dadas pela expressão abaixo:

$$\sigma = \gamma h \cos^2 \beta$$

Equação – 2.4

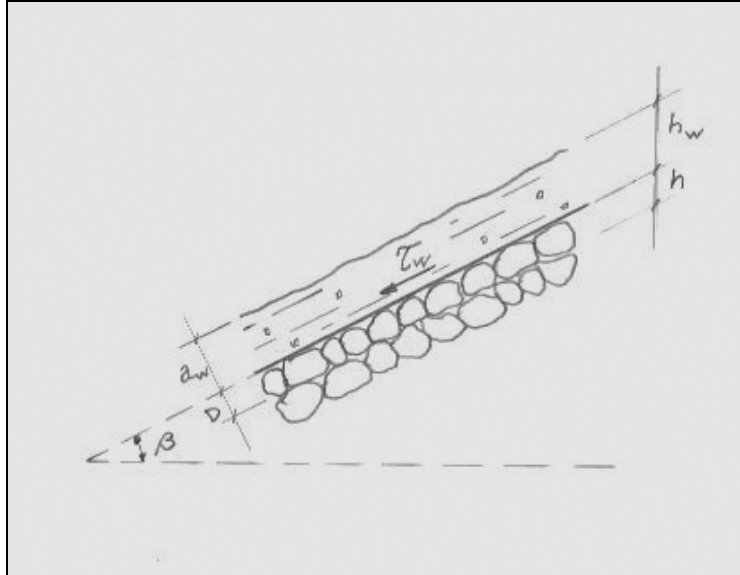


Figura 2.3- Modelo do escoamento superficial

No caso da Figura 2.3, h corresponde aproximadamente à dimensão dos grãos, indicada por D, e o peso específico a ser considerado deverá ser o peso específico submerso. Sabendo-se que $D = h \cos \beta$, tem-se:

$$\sigma = \gamma' D \cos \beta$$

Equação – 2.5

Substituindo-se na equação – 2.3, tem-se:

$$c = c + \gamma' D \cos \beta \operatorname{tg} \phi$$

Equação – 2.6

Sabe-se que as condições especiais em que se manifesta a resistência de atrito são muito diferentes daquelas para as quais é usualmente definido ϕ e também o peso, $\gamma' D$. Basta que a velocidade de escoamento seja suficientemente elevada e o escoamento passe de laminar a turbulento, para

que os grãos de solo fiquem sujeitos à vibrações que diminuem a referida resistência de atrito. NASCIMENTO E CASTRO (1974), com o intuito de amenizar tais condições especiais, utilizaram um coeficiente **b** cujo valor deverá estar compreendido entre 0 e 1.

$$c = c + b \gamma' D \cos \beta \operatorname{tg} \phi$$

Equação – 2.7

ERODIBILIDADE DOS SOLOS

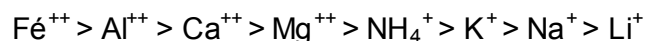
Como foi visto anteriormente, o processo erosivo é uma seqüência de eventos que, resumidamente, inicia-se na desagregação das partículas do solo, continua no seu transporte e finaliza na sua deposição. A erodibilidade é uma característica do solo que está intimamente associada à desagregação e transporte das partículas de solo. Entende-se como erodibilidade do solo a maior ou menor susceptibilidade dos solos erodirem em diferentes taxas, devido somente às diferenças em suas propriedades (VEIGA, 1988). Segundo SANTOS (1997), a resistência à erosão depende não só de características intrínsecas do solo mas também de fatores subsidiários, como ciclo de secagem e umedecimento e da composição química da água presente. Desta maneira, a forma mais comum de se retratar a erodibilidade dos solos tem sido através de suas características físicas e químicas, além de alguns condicionantes externos.

A granulometria é a propriedade mais estudada sobre esse ponto de vista. Diversos autores como VARGAS (1977), FÁCIO (1991) e SANTOS (1997), afirmaram serem os solos mais erodíveis aqueles que apresentam um comportamento granular, com partículas da ordem de areia fina ou silte e pouca quantidade de argila.

VARGAS (1977) afirmou ainda que a erodibilidade para os solos arenosos é tanto maior quanto mais uniforme for sua granulometria. O mesmo autor informa que, para os solos argilosos, o fenômeno complica-se, intervindo

a estrutura, o teor de umidade, o grau de saturação e a expansibilidade do solo. De uma forma ampla, VARGAS (1977) diz que a resistência à erosão das argilas é grande nas argilas saturadas e pequena nas argilas não saturadas ou ressecadas. Um outro efeito que reduz a resistência à erosão é a saturação acompanhada de expansão da argila, perdendo substancialmente a sua coesão.

Segundo FÁCIO (1991) os tipos de cátions existentes em um solo podem influenciar em suas características físico-químicas e mineralógicas. Dentre estas influências estão a floculação e a plasticidade. Cita ainda o poder de floculação dos cátions da seguinte maneira:



DUN (1959), *in* Vargas (1977), mostra que a resistência trativa dos solos argilosos diminui com o aumento da relação de absorção de sódio, o que concorda com o fato do sódio absorvido aumentar a camada de água absorvida em torno dos grãos e, conseqüentemente, faz decrescer a força atrativa entre as partículas, tornando possível que elas se separem da massa.

SANTOS (1997) realizou variações nos ensaios de inderbitzen de forma a representar a influência da direção do fluxo sobre as feições anisotrópicas (bandamento e xistosidade). Os resultados dos ensaios revelaram não haver, para os solos analisados, diferenças substanciais quando se modifica a direção do fluxo em relação ao bandamento, concluindo que para as rochas muito alteradas, as feições anisotrópicas não influenciam na susceptibilidade à erosão.

No estudo realizado pelo DNER (1979), sugere-se que sejam executados ensaios que possibilitem prever e fornecer características adicionais sobre o grau de erodibilidade dos solos. Com base em estudos realizados no Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Lisboa, o DNER (1979) sugere alguns ensaios correntes de laboratório para testar a

diferenciação do comportamento dos solos com relação a erosão. Tais ensaios são:

1. Análise granulométrica: solos com boa ou regular resistência à erosão apresentam

$$0,52 \leq a \leq 0,92, \text{ e}$$
$$49\% \leq \% \text{ pass \# 40} \leq 96\%$$

onde,

$$a = \Sigma y / 100n$$

y = média das porcentagens dos grãos passando nas peneiras de # 7, 14, 25, 50, 100 e 200 (ABNT)

n = 6 (número de peneiras)

2. Limites de consistência: solos com comportamento bom a regular apresentam

$$W_P \leq 32 \text{ e } IP \leq 17$$

3. Expansibilidade LNEC (E): solos com comportamento bom a regular apresentam

$$E \leq 11\%$$

4. Limite de absorção (L.A.): solos com bom comportamento atendem a relação

$$LA \leq ah_o + b$$

onde,

$$a = (1 + E)/100$$

$$b = E/\gamma$$

h_o = umidade teórica calculada para uma amostra indeformada supondo o grau de saturação 100% sem variação de volume da amostra.

γ = peso específico dos grãos

E = expansibilidade LNEC

LA = limite de absorção, ensaio proposto por NASCIMENTO e CASTRO (1974) e também analisado detalhadamente por ALCÂNTARA (1997).

Visando a obtenção de uma correlação entre a erodibilidade e as características físico-químicas e mineralógicas dos solos do Distrito Federal, FÁCIO (1991) realizou as análises dos seguintes parâmetros:

- 1 Plasticidade: o aumento da plasticidade aumenta a resistência à erosão.
- 2 Granulometria: solos mal distribuídos ($C_u < 5$) são solos erodíveis, ao passo que solos bem distribuídos ($C_u > 15$) são solos poucos erodíveis.
- 3 $(SiO_2) / (Fe_2O_3 + Al_2O_3)$: quanto menor a relação, mais laterizado está o solo e conseqüentemente maior será a resistência à erosão. Se a relação for menor que 2 o solo é considerado como laterizado, e para valores maiores que 2 eles são tidos como solos não laterizados.
- 4 Presença de cátions trocáveis: a correlação entre os fatores em questão, quando feitos isoladamente, não permite uma conclusão devido à dispersão encontrada.
- 5 Mineralogia: solos com argilas do tipo montmorillonita possuem resistência à erosão maior que a illita, que por sua vez, possui uma resistência maior do que a caulinita, ARUMUGAN (1974), *in* Fácio (1991).

FÁCIO (1991) concluiu que as correlações entre erodibilidade dos solos e suas características físico-químicas e geotécnicas são comprometidas pelo elevado número de parâmetros que interferem no processo erosivo. O autor sugere ainda que fosse calibrada a influência de cada parâmetro em condições específicas, de modo a obter-se um modelo global.

ENSAIO INDERBITZEN

INDERBITZEN (1961) propôs um ensaio para determinar em laboratório a quantidade de solo erodido em uma amostra com 152 mm de diâmetro, quando sua superfície é exposta a uma determinada vazão de água, colocada em uma rampa de inclinação conhecida.

O DNER (1979) desenvolveu um equipamento a partir desta proposta e realizou um número superior a 50 ensaios de inderbitzen em solos residuais de gnaiss que apresentaram resultados que permitiram uma boa correlação entre aquilo que foi observado no campo e o medido no laboratório. As amostras foram ensaiadas nas condições de umidade natural, após embebição e com ressecamento prévio. Duas séries foram executadas, uma com rampa de 44° e outra de 59°. Nos ensaios, a variação da vazão foi entre 59 e 314 cm³/seg. Uma importante descoberta foi a da existência de um intervalo de tempo em que o processo erosivo é crítico (5 min). Neste mesmo trabalho foram apresentadas faixas de classificação da erodibilidade, para vazão de 314 cm³/seg, a saber:

- Faixa A: resistente à erosão, valores de velocidade de erosão de aproximadamente 7,0 g/cm²/hora.
- Faixa B: comportamento de regular e mau, a variação de velocidade de erosão vai de aproximadamente 7,0 a 50,0 g/cm²/hora.
- Faixa C: comportamento mau à erosão, valores de velocidade de erosão superior a 50,0 g/cm²/hora.

Com base na proposta do DNER de classificação da erodibilidade, obtiveram-se limites para classificar os solos em ensaios com parâmetros fixos de vazão igual a 25 cm³/seg ou 1,5 l/min, que é a metodologia adotada neste trabalho. Assim, as classificações das erodibilidades ficam:

- Solo resistente à erosão: de 0 a 0,8 g/cm²/hora
- Solo regular a mau: 0,8 a 25 g/cm²/hora
- Solo de mau comportamento: acima de 25 g/cm²/hora

No início da década de 90, FÁCIO (1991) projetou e construiu uma versão modificada do aparelho proposto por Inderbitzen, capaz de propiciar uma versatilidade nas variações de rampa, de vazão e no ajuste do corpo de prova, tornando o ensaio mais ágil. As alterações mais importantes no equipamento foram a largura da rampa que passou de 1,00 m para 0,33 m; o comprimento da rampa, que passou de 1,00 m para 1,30 m; a criação de duas bacias de uniformização da água e a redução do diâmetro dos corpos de provas de 152 mm para 100 mm. Descreve ainda detalhadamente todo o aparelho e a metodologia do ensaio de Inderbitzen. A partir de uma série de ensaios com variações nos valores de vazão, declividade da rampa e no tempo de ensaio e de saturação da amostra, este autor propõe a realização do ensaio sob condições normalizadas, a saber:

- tempo de embebedimento = 15 minutos;
- vazão = 50 ml/s;
- declividade da rampa = 10°;
- tempo de ensaio = 20 minutos.

Tais condições permitem que a erosão sobre as amostras ocorra de maneira gradual e significativa para diversos tipos de solo, facilitando a observação do processo erosivo. Segundo o referido autor, o embebedimento das amostras é realizado para anular as eventuais forças de sucção presentes na amostra em seu estado natural.

O autor propõe ainda que os resultados dos ensaios sejam apresentados sob a forma de gráficos de perda acumulada de solo (em g/mm² x 10⁻³) *versus* tempo (min). Deste modo, facilita-se a análise dos resultados obtidos.

SANTOS (1997), visando melhorar a qualidade dos resultados obtidos no aparelho de Inderbitzen, promoveu algumas modificações no aparelho utilizado por FÁCIO (1991). O tempo de ensaio foi aumentado para 30 min, visando melhor caracterizar o comportamento da curva perda de solo *versus* tempo. O material carreado pelo fluxo superficial é coletado em peneiras com 0,074 mm de abertura (#200 da ABNT), sendo depois secado em estufa e pesado. O material passante na peneira 200 é ponderado pela porção que fica na peneira 200, utilizando-se as curvas granulométricas obtidas sem o uso de defloculante.

FRAGASSI (1997), com o apoio do Programa Institucional de Pesquisa do CNPq, desenvolveu um aparelho de Inderbitzen nos moldes propostos pelo DNER (1979), para o Laboratório de Geotecnia da Universidade Federal de Viçosa. VIANA (1999), na utilização do aparelho Inderbitzen verificou pequenas interferências, tais como: o transbordamento na peneira de número 400 da ABNT e a existência de fluxos intermitentes que causaram alterações na vazão inicial. O mesmo autor propôs modificações que podem favorecer o fim dos problemas diagnosticados:

- A rampa do aparelho deverá ser confeccionada em material acrílico a fim de fornecer garantia de que a vazão será aplicada uniformemente sobre a superfície da amostra e também que este fluxo não mude de caminho no decorrer do ensaio;
- Sugeriu-se a colocação de um medidor externo ao aparelho;
- Recomendou-se o uso de um reservatório externo para evitar as mudanças bruscas na vazão d'água;
- Sistema de peneiras deverá ser mais eficiente para facilitar a execução do ensaio;
- Propôs-se a utilização das peneiras 100, 200 e 400 (ABNT), para que se amenize a perda de material fino;

- Desenvolver um sistema de nivelamento no aparelho para facilitar o controle da vazão durante o ensaio.

DESCRIÇÃO DA PEDOLOGIA REGIONAL

A descrição pedogenética apresentada a seguir foi desenvolvida por vários autores em trabalhos de pesquisa desenvolvidos para o município de Viçosa e regiões da Zona da Mata-MG.

LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (LV)

Solos de grande expressão territorial no relevo da região. São bastante intemperizados e lixiviados, de perfis profundos ou muito profundos de seqüência de horizontes A-B-C, com diferenciação dos horizontes e apresentam o horizonte B latossólico. Provenientes do material de origem pré-intemperizado do gnaise, com grande espessura do solo residual com algumas dezenas de metros, decorrentes da grande alternância climática entre períodos mais úmidos e mais secos. Normalmente, apresentam textura areno-argilosa a argilo-arenosa.

Com sua localização de maior estabilidade de relevo, possuem uma taxa de pedogênese maior que a taxa de erosão geológica. São formados em antigos pediplanos, que sofreram enriquecimento de material das superfícies mais altas e não foram transportados pela erosão.

CARDOSO (1994), estudou os aspectos geotécnicos ligados à expansibilidade de quatro ocorrência de latossolos da região, encontrou texturas areno-argilosa para três amostras e argilo-arenosa para uma amostra, com limite de liquidez variando de 63% a 78% e IP de 20% a 33%. A maior presença de hematita e a ocorrência intimamente da goethita lhes confere uma tonalidade mais avermelhada. De acordo com a classificação Unificada (USC)

e HRB, todas as amostras enquadram-se no grupo MH e grupo A-7-5, respectivamente, com índice de grupo variando de 9 a 17.

A fração argila dos latossolos de Viçosa é formado principalmente de caulinita, e tem sido observado que eles apresentam uma moderada expansão. Tal nível de expansão pode aumentar por causa da ocorrência de trincas de tração durante a longa estação seca, que vai do começo de abril até o fim de setembro. A estação seguinte é muito úmida, quando ocorre então a expansão dos solos (LIMA et al., 1993).

CAMBISSOLO (CB)

De ocorrência predominante nas vertentes mais íngremes do relevo montanhoso, inclusive nas bordas das ravinas antiteátricas, com declive de 67% no terço médio da encosta (QUINTEIRO, 1997). Apresentam, normalmente, horizonte B incipiente com espessura menor ou pouco maior que 50 cm. São solos rasos com o horizonte C geralmente exposto, de pequena espessura, com a rocha perto da superfície. Aqui, a taxa de erosão suplanta a taxa de pedogênese. Devido ao intenso processo de intemperismo químico, esses solos não possuem minerais primários que existiam na rocha original, o gnaisse, sendo encontrado apenas minerais secundários como a caulinita, gibbsita, hematita e goethita.

Apresentam uma relação silte/argila maior que os outros solos da região e, por possuírem um horizonte B incipiente, a textura varia muito pouco ao longo do perfil, sendo comuns as modalidades areno-argilosa e muito argilosa.

PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO (PV)

São formados de sedimentos fluviais de origem de solos desenvolvidos de gnaisse Pré-cambiano. Apresentam o horizonte B textural pela translocação de argila do horizonte A para o horizonte B. Segundo CORRÊA (1984), corresponde a uma superfície plana elaborada em ambiente flúvio-lacustre e, posteriormente, dissecada pela rede de drenagem atual, evidenciando os terraços.

Mineralogicamente, apresentam quartzo, caulinita e gibbsita nas frações silte e argila. Na fração areia, pode-se constatar a presença de pseudomorfo de mica. Em relação aos óxidos de ferro, a goethita é a forma dominante, ocasionando tonalidades mais avermelhadas, e também a presença de hematita (CARVALHO FILHO, 1989).

PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO COM B BRUNO MICÁCEO (PVB)

Estão situados no piso das ravinas anfi-teátricas, a superfície do fundo das ravinas apresenta, geralmente, saliências, dando a impressão de que foi revolvida (QUINTEIRO, 1997). Segundo este autor, têm como características importantes o aspecto lustroso e brilho graxo, devido a flocos de caulinita pseudomorfa em mostrando a aparência micácea e facilmente reconhecidos no B textural.

Ocupam posições mais baixas da paisagem com certa declividade, em ambientes conservadores e em condições de drenagem ineficientes, onde os processos de erosão não são intensos a ponto de formarem Cambissolos Latossólicos ou Latossolos. São solos mais jovens e férteis, rejuvenescidos pela erosão geológica.

CAMBISSOLO LATOSSÓLICO (CL)

Localizam-se nas elevações, normalmente nas partes mais íngremes da paisagem, apresentando um horizonte A com alguns centímetros de espessura, horizonte B incipiente maior que 50 cm. Com uma declividade acentuada, são formados a partir do rejuvenescimento dos Latossolos devido à erosão geológica. Situam-se, também, nas bordas das ravinas antiteátricas

São solos rasos e expostos freqüentemente à erosão, com o manto de intemperismo do horizonte C bem profundo, que às vezes mostram-se na superfície.

LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO VARIAÇÃO UMA (LU)

Encontram-se localizados no topo da paisagem e nas encostas mais suavizadas da região. São solos profundos a muito profundos, porosos e bem drenados, de textura argilosa a muito argilosa, com alto teor de ferro, e caracterizam-se pela tonalidade brunada no perfil do horizonte B. Por serem solos argilosos, mostrando-se plásticos e pegajosos. Apresentam pouca diferenciação entre os horizontes, possuindo a seqüência A-B-C (AZEVEDO, 1999).

SOLOS HIDROMÓRFICOS (HI)

São solos de topografia plana, que se encontram no leito maior das linhas de drenagem, às margens dos cursos d'água ou partes baixas do terreno sob condição de saturação de água ou alagamento temporário, formados a partir do pequeno volume d'água que drenam os vales (CORRÊA, 1984).

Segundo OLIVEIRA et al. (1992), estes solos apresentam, como características principais, cores acinzentadas devido às condições de

hidromorfismo a que estão sujeitos e perfis compostos de horizonte A moderado ou ocasionalmente proeminente ou turfoso, sobre um horizonte E, alábico ou não, seguido por um textural gleizado e um Cg. A diferenciação de horizontes é usualmente bem acentuada.

MATERIAIS E MÉTODOS

CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS AMOSTRADAS

Neste trabalho, utilizou-se material de solos de dois municípios: Viçosa e Coimbra, ambos em Minas Gerais.

Os solos estudados classificam-se como Residual Saprolítico, proveniente da alteração da rocha gnaisse. Constituem, em suas condições naturais, camadas subjacentes às lateríticas ou outros solos pedogenéticos, ou, ainda, a solos sedimentares ou transportados. As espessuras dessas camadas são das mais variadas, atingindo freqüentemente várias dezenas de metros. Suas cores também variam muito, sendo freqüente uma mesma amostra apresentar partes de diversas cores diferentes. Sua aparência macroscópica é em geral caracterizada pela presença de camadas, manchas, xistosidades, vazios, etc., em grandes partes herdadas da rocha matriz que lhe deu origem. São genuinamente residuais. Sua constituição mineralógica é caracterizada pela presença freqüente de grande número de minerais, parte dos quais decorre do processo de intemperização e parte herdado da rocha matriz. Na fração argila pode ocorrer grande variedade de argilo-minerais e a fração silte pode ter mineralogia muito variada e peculiar, como os macrocristais de caulinita e micas, que podem impor comportamento peculiares a estes solos (COZZOLINO, 1993).

No município de Viçosa, o relevo é montanhoso e o local de amostragem situa-se dentro do *campus* universitário, ao lado do antigo estábulo e do Departamento de Educação Física, como mostram as Figuras 3.1 e 3.2. Em Coimbra, a área estudada situa-se na Serra de São Geraldo, localizada no Km 30 da BR-120, trecho Viçosa - São Geraldo, área onde se desenvolveu um grande processo erosivo, afetando a estrutura da rodovia, ver Figuras 3.3, 3.4 e 3.5. Na Figura 3.6 é apresentada a localização geografia dos municípios de Viçosa e Coimbra, bem como a área de análise na Serra de São Geraldo.



Figura 3.1 – Localização da área de estudo no município de Viçosa, próxima ao Departamento de Educação Física da UFV.



Figura 3.2 – Talude escolhido para análise (Viçosa-MG).



Figura 3.3 – Vista parcial de depreciação de trecho da rodovia BR-120, como resultado de erosão (Serra de São Geraldo, Coimbra, MG).



Figura 3.4 – Sistema de drenagem que deflagrou o processo erosivo próximo à rodovia BR-120, na Serra de São Geraldo (Coimbra, MG).

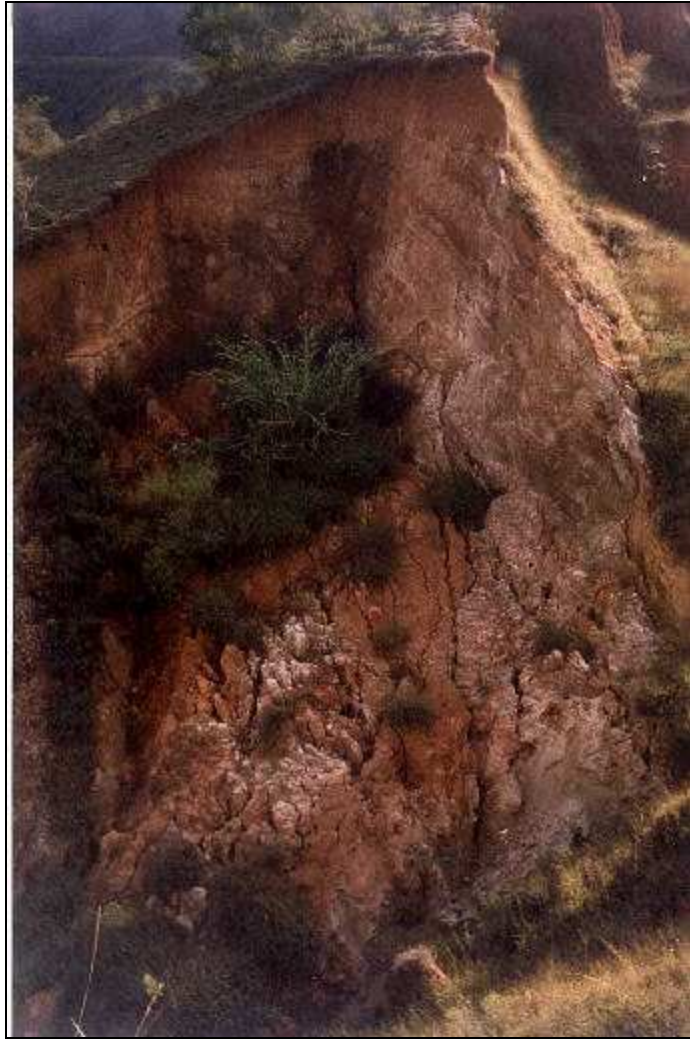


Figura 3.5 – Erosão da Serra de São Geraldo, Coimbra, MG.

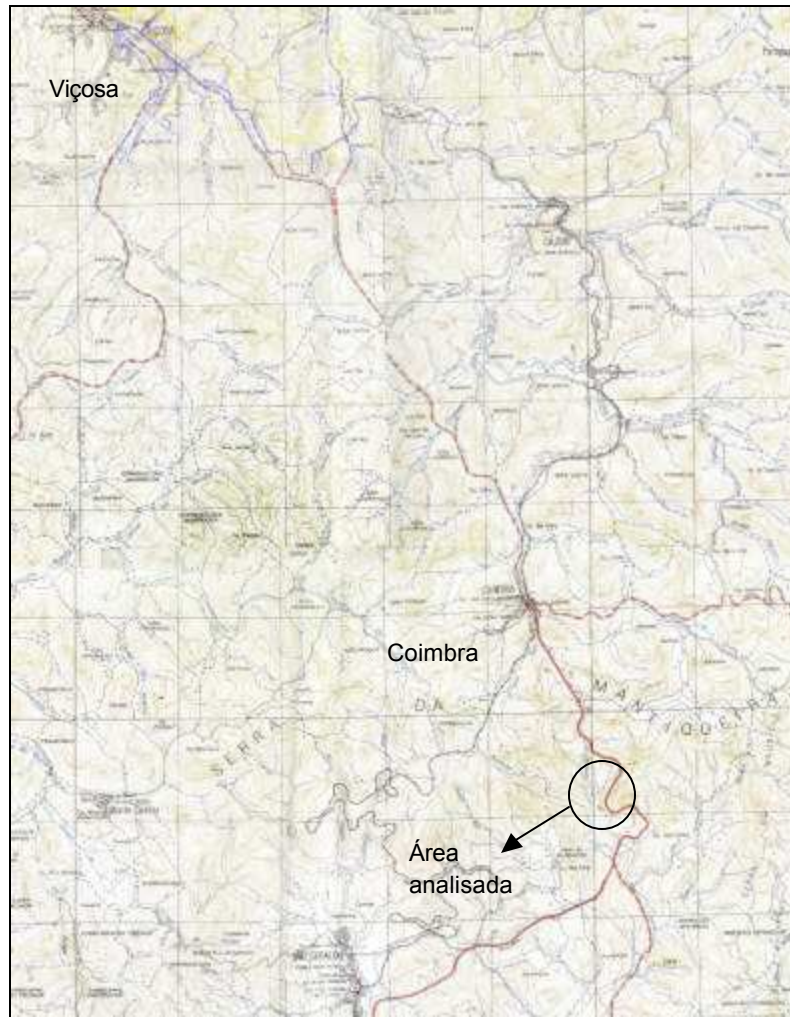


Figura 3.6 –Localização geográfica dos municípios de Viçosa e Coimbra.

AMOSTRAGEM DE MATERIAIS

Foram coletadas amostras de solos nos locais anteriormente descritos. Para cada local, obedeceu-se ao seguinte procedimento: 1) retirou-se dois blocos de solo com medidas de 30 x 30 x 30 cm para a caracterização da resistência mecânica e da permeabilidade, conforme a NBR 9604/86 - Abertura de Poço e Trincheira de Inspeção em Solo, com Retirada de Amostras Deformadas e Indeformadas. Os blocos amostrados representam o perfil do subsolo que se apresenta, basicamente, em solo residual maduro e em solo residual jovem; 2) através de cilindros biselados do aparelho Inderbitzen, retirou-se 12 amostras indeformadas de solos, com as quais foram realizados os ensaios de Inderbitzen; 3) para cada solo analisado, coletou-se, aproximadamente, 1,5 Kg de solo deformado, para a execução dos demais ensaios laboratoriais; 4) executou-se 3 furos de sondagem SPT (standard penetration test), que forneceram amostras do perfil do subsolo de cada local, possibilitando a elaboração do perfil geotécnico. Nas Figuras 3.7, 3.8 e 3.9 são mostrados os locais de amostragem.



Figura 3.7 – Localização do ponto de amostragem do solo residual jovem do Estábulo.



Figura 3.8 – Localização do ponto de amostragem do solo residual maduro do Estábulo.



Figura 3.9 – Localização do ponto de amostragem do solo residual jovem da Serra de São Geraldo.

ENSAIOS LABORATORIAIS

ENSAIOS FÍSICOS CONVENCIONAIS

Para a definição da textura do solo, foram realizados ensaios de granulometria conjunta conforme metodologia recomendada pela ABNT: Análise granulométrica de Solos - NBR 7181/82, que adota a seguinte divisão granulométrica para os solos:

$0,2 \text{ mm} < \text{Areia Grossa} \leq 2,0 \text{ mm}$

$0,02 \text{ mm} < \text{Areia Fina} \leq 0,2 \text{ mm}$

$0,002 \text{ mm} < \text{Silte} < 0,02 \text{ mm}$

$\text{Argila} \leq 0,002 \text{ mm}$

As determinações das massas específicas dos grãos do solo foram feitas de acordo com a norma da ABNT: Determinação da massa específica dos grãos do solo - NBR 6508/80.

Os ensaios para verificação dos limites de consistência (LL, LP e LC), foram executados segundo a metodologia apresentada pela ABNT: Limites de plasticidades - NBR 7180/94.

As relações entre as diversas fases do solo, caracterizando as condições físicas em que este se encontra, foram determinadas segundo BUENO e VILAR (1980). Os índices físicos determinados foram: porosidade, índice de vazios, grau de saturação, teor de umidade e massa específica natural.

Os ensaios de expansibilidade LNEC foram executados segundo a metodologia proposta por CASTRO (1964), do Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal (LNEC).

ENSAIOS ESPECIAIS

Foram dois os ensaios especiais de laboratório realizados nas amostras de solo retiradas nas áreas em estudo: O cisalhamento direto e o ensaio de erodibilidade.

Os ensaios de cisalhamento direto foram executados em amostras de 5 x 5 cm, segundo a metodologia apresentada pelo Manual of Soil Laboratory Testing, (HEAD, 1982), além da realização também de ensaios de cisalhamento direto em amostras submersas em água, numa tentativa de simular o solo saturado. A envoltória de resistência das amostras indeformadas foram obtidas através da aplicação de tensões normais de 50 kPa, 100 kPa e 200 kPa e com uma velocidade de 0,708 mm/min para as amostras naturais e

com uma velocidade baixa, de 0,142 mm/min, para dissipação da poro-pressão das amostras submersas.

O ensaio Inderbitzen, que foi realizado segundo metodologia proposta por SANTOS (1997), está descrito no item 2.6, salvo algumas adaptações para o aparelho confeccionado no Laboratório de Geotecnia da UFV. A metodologia deste ensaio, bem como as adaptações na forma de ensaiar as amostras de solo, são contempladas no Capítulo 4, destinado apenas ao ensaio de Inderbitzen.

ENSAIOS QUÍMICOS DO SOLO

As determinações químicas foram feitas em amostras deformadas de solo seco ao ar. As seguintes características foram determinadas:

- Matéria Orgânica: determinado por oxidação da matéria orgânica pelo método Walkley-Black, descrito por DEFELIPO e RIBEIRO (1981).
- Cálcio, Magnésio e Acidez Trocável: extraídos em solução normal de KCl mol/l, na proporção de 1:10. A acidez trocável (Al^{3+}) foi determinada pela titulação com NaOH 0,025 mol/l, tendo, como indicador, o azul de bromotimol, segundo EMBRAPA (1979); o cálcio e o magnésio foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica.
- Sódio, Potássio e Fósforo Disponíveis: extraídos pelo extrator Mehlich-1. O potássio foi determinado por fotometria de chama, segundo DEFELIPO e RIBEIRO (1981). O fósforo, colorimetricamente, após redução do complexo fosfomolibdico, foi determinado pelo ácido ascórbico, de acordo com DEFELIPO e RIBEIRO (1981).

- Soma de Base (Sb): determinada pela soma de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ .

ENSAIO DE CAMPO

Procedeu-se à realização de sondagens à percussão segundo a Norma da ABNT: Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos - NBR 6484. As sondagens executadas por meio de uma perfuração do terreno, acompanhadas da coleta de amostras, permitiram a obtenção do perfil estratigráfico do subsolo e, paralelamente, o índice de resistência à penetração, conhecido como N_{SPT} . Foram realizadas 3 sondagens: uma à montante e outra à jusante da rodovia BR-120 no trecho mostrado na Figura 3.3; e uma terceira, em local em que se observou o início do desenvolvimento de um processo de erosão, situado em uma fazenda no topo da serra, às margens da BR-120, sentido Viçosa-Ubá. Ainda com o intuito de reconhecimento geotécnico do perfil da região da Serra de São Geraldo, foram executados dois ensaios dilatométricos, próximos a cada furo de sondagens à percussão, seguindo a metodologia proposta por MARCHETTI (1980), e que será mostrada no item 3.4.1.

De maneira a monitorar as pressões piezométricas desenvolvidas no subsolo com o aumento do nível d'água dos lençóis freáticos foram instalados piezômetros cuja instalação seguiu a Norma CETESB 06.010 de abril de (1988). O equipamento consiste, basicamente, de um indicador de nível d'água em sua extremidade, denominado de ponteira. A ponteira está ligada com a superfície através de um tubo de PVC. Uma célula de areia é formada em torno da extremidade da ponteira para facilitar a drenagem do terreno em seu entorno e um selo de bentonita é colocado sobre a célula de areia para isolar a poro-pressão na ponteira. Para o cálculo da poro-pressão submersa, basta

medir o peso da coluna d'água sobre a ponteira do piezômetro. A Figura 3.10 mostra a extremidade superior do cano PVC de um piezômetro instalado na Serra de São Geraldo.



Figura 3.10 – Piezômetro instalado na Serra de São Geraldo.

ENSAIO DILATOMÉTRICO (DMT)

Dentre os ensaios de campo mais importantes e de recente introdução no meio geotécnico, destaca-se o ensaio dilatométrico, DMT, desenvolvido na Itália, na década de 70, pelo professor Silvano Marchetti (MARCHETTI, 1975). Através de pesquisa, ele desenvolveu esse ensaio de penetração simples e econômico para medir as tensões *in situ* e o módulo de deformabilidade do solo.

PAULA (1998), realizou estudos do DMT em um solo residual de gnaiss na região de Viçosa-MG, com o intuito de verificar a aplicabilidade das correlações desenvolvidas entre os resultados do ensaio e as propriedades dos solos sedimentares de outras partes do mundo. Dentre as propriedades dos solos, algumas se mostraram promissoras ao uso do DMT para obtê-los, tais como: descrição do tipo de solo, módulo a compressão confinada (M), OCR e recalques.

Algumas explicações serão apresentadas sobre a metodologia do ensaio, bem como o processo de obtenção das propriedades dos solos aqui mostradas.

Resumo do ensaio

O “layout” geral do ensaio pode ser visto na Figura 3.11. A lâmina é conectada, na superfície, à unidade de controle que a alimenta via pressão de gás e corrente elétrica através do cabo eletropneumático que passa pelas das hastes metálicas. Uma garrafa de nitrogênio fornece a pressão de gás à unidade de controle e um sistema de pilhas ou baterias, a corrente elétrica.

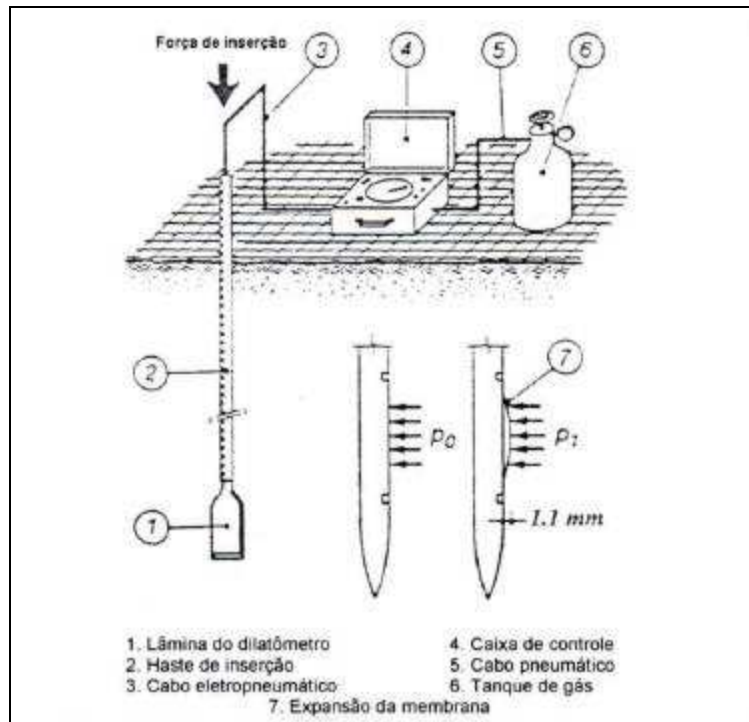


Figura 3.11 – “Layout” geral do ensaio dilatométrico.

Conforme ilustrado na Figura 3.12, o ensaio segue uma seqüência de quatro passos. O primeiro passo corresponde à inserção vertical da lâmina na profundidade desejada. Após aliviar a força de inserção, abre-se a válvula de controle de fluxo de gás gradualmente para aumentar a pressão atrás da lâmina. Durante esse tempo, ouve-se um sinal de áudio vindo da unidade de controle e se inicia seu movimento horizontal para dentro do solo que a circunda. Lê-se a pressão no manômetro nesse ponto para obter a **pressão A** (após correção, fornece a medida p_0). Em seguida, continua-se a expansão da membrana, acrescentando lentamente a pressão de gás. Durante a expansão, o sinal permanece desligado e retorna no deslocamento de 1,1 mm, que sinaliza o operador para a leitura da **pressão B** (após a correção, fornece a medida p_1). Após, usam-se as válvulas de ventilação e de relaxamento de fluxo para produzir um relaxamento de pressão até que a membrana retorne à sua posição inicial assentada. Nesse ponto, o sinal pode ser acionado novamente e se obtém a leitura da **pressão C** (após correção, fornece a medida p_2), ventilando-se a pressão remanescente. Isso completa a seqüência do teste, e a lâmina é avançada para a próxima profundidade.

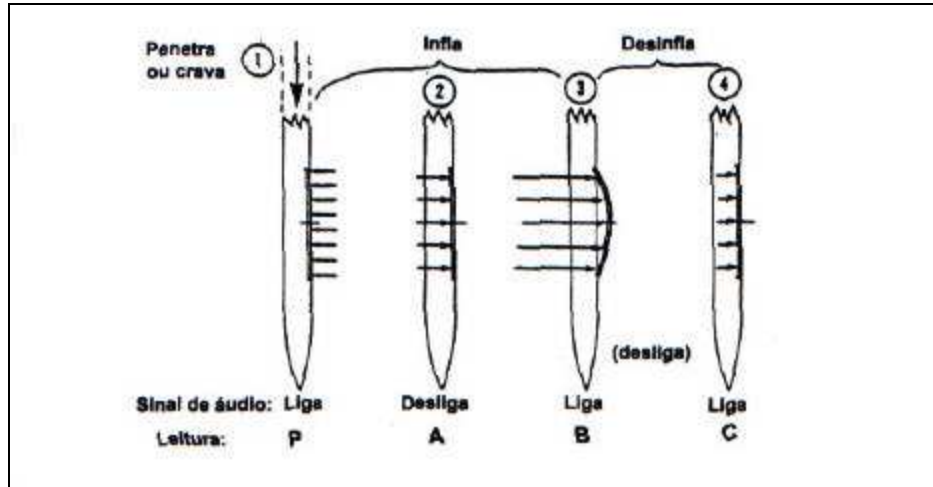


Figura 3.11 – Seqüência de quatro passos do ensaio dilatométrico (vista da seção vertical através do centro da lâmina).

Procedimento de redução dos dados

PAULA (1998), apresentou detalhadamente o procedimento de redução dos dados para a obtenção das propriedades dos solos, de onde foi elaborado o resumo abaixo descrito.

A conversão dos dados de campo para uso em análises é um processo de duas etapas. Primeiro se combinam as leituras **A** e **B** com a tensão vertical no solo e a poro-pressão da água para obter três ou quatro índices dilatométricos. A tensão vertical e a poro-pressão podem ser estimadas de cálculos ou medidas em campo e devem representar as condições anteriores à inserção do dilatômetro. Nota-se que a terceira leitura, a pressão **C**, proporciona uma medida direta e precisa da poro-pressão em solos arenosos. A segunda etapa, a partir destes resultados, propõe correlações de diversos parâmetros, as quais definem perfis verticais de propriedades comuns do solo.

A redução dos dados se inicia corrigindo as leituras devido à rigidez da membrana e ao desvio do zero do medidor de pressão. Essas correções são

elaboradas através dos dados obtidos na calibração da lâmina antes e depois de cada ensaio: ΔA e ΔB .

O cálculo de p_0 , p_1 e p_2 é feito como a seguir:

$$p_0 = 1,05 \times (A - Z_M + \Delta A) - 0,05 \times (B - Z_M - \Delta B) \quad \text{Equação – 3.1}$$

$$p_1 = (B - Z_M - \Delta B) \quad \text{Equação – 3.2}$$

$$p_2 = (C - Z_M + \Delta A) \quad \text{Equação – 3.3}$$

em que

A = primeira leitura do dilatômetro;

B = segunda leitura do dilatômetro;

C = terceira leitura do dilatômetro;

ΔA = correção da membrana ao ar relativa a A;

ΔB = correção da membrana ao ar relativa a B;

Z_M = leitura do medidor de pressão quando a mesma é relaxada (desvio em relação ao zero);

p_0 = leitura de pressão A corrigida e extrapolada para o deslocamento zero da membrana;

p_1 = leitura de pressão B corrigida; e

p_2 = leitura de pressão C corrigida.

São calculados os valores da tensão vertical total, σ_{vt} , e da poro pressão, u_0 , anteriores à inserção.

Parâmetros intermediários

São quatro os parâmetros intermediários obtidos através das várias relações entre p_0 , p_1 , p_2 , u_0 e σ_{vt} , a saber:

- Índice do material, I_D

$$I_D = \frac{p_1 - p_0}{p_0 - u_0} \quad \text{Equação – 3.4}$$

- Coeficiente de tensão horizontal, K_D

$$K_D = \frac{p_0 - u_0}{\sigma_{vt} - u_0} \quad \text{Equação – 3.5}$$

- Módulo dilatométrico, E_D

$$E_D = 34,7 \times (p_1 - p_0) \quad \text{Equação – 3.6}$$

- Índice de poro -pressão da água, U_D

$$U_D = \frac{p_2 - u_0}{p_0 - u_0} \rightarrow \text{LUTENEGGER – (1988)} \quad \text{Equação – 3.7}$$

$$U_D = \frac{p_2 - u_0}{p_0 - u_0} \rightarrow \text{SCHMERTMANN – (1988)} \quad \text{Equação – 3.8}$$

Correlações do DMT com propriedades de engenharia dos solos

Nos relatório de sondagem DMT, são apresentadas algumas propriedades dos solos, obtidas através de correlações desenvolvidas com parâmetros intermediários. De forma bem sucinta, serão mostradas as correlações usadas para encontrar tais propriedades.

- Descrição (MARCHETTI, 1980):

Tipo de Solo	Índice do Material, I_b
Turfa / Argilas sensitivas	< 0,10
Argila	0,10 – 0,35
Argila siltosa	0,35 – 0,60
Silte argiloso	0,60 – 0,90
Silte	0,90 – 1,20
Silte arenoso	1,20 – 1,80
Areia Siltosa	1,80 – 3,30
Areia	> 3,30

- K_0 em argilas (MARCHETTI, 1980):

$$K = \left(\frac{K_D}{1,5} \right)^{0,47} - 0,6 \quad \text{Equação – 3.9}$$

- Resistência não-drenada em argilas (MARCHETTI, 1980):

$$C_u = 0,22 \times \sigma_v \times (0,5 \times K_D)^{1,25} \quad \text{Equação – 3.10}$$

- Módulo tangente à compressão confinada, M (MARCHETTI, 1980):

$$M = R_M \times E_D \quad \text{Equação – 3.11}$$

em que

$$\text{se } I_D \leq 0,6 \quad R_M = 0,14 + 2,36 \times \log K_D$$

$$\text{se } 0,6 < I_D < 3,0 \quad R_M = R_{M,0} + (2,5 - R_{M,0}) \times \log K_D$$

$$R_{M,0} = 0,14 + 0,15 \times (I_D - 0,6)$$

$$\text{se } I_D > 3,0 \quad R_M = 0,50 + 2,00 \times \log K_D$$

$$\text{se } I_D > 10 \quad R_M = 0,32 + 2,18 \times \log K_D$$

Em todos os casos, o mínimo recomendado é $R_M = 0,85$.

- Razão de pré-adensamento em argilas, OCR (MARCHETTI, 1980):

$$OCR = (0,5 \times K_D)^{1,56} \quad \text{Equação – 3.12}$$

EXECUÇÃO DOS TRABALHOS

De forma geral pode-se dividir os trabalhos executados em cinco etapas distintas: ensaios de caracterização física dos solos; ensaios mecânicos laboratoriais; ensaios de campo; confecção do Aparelho de Inderbitzen, e; ensaios de erodibilidade.

Nas áreas escolhidas para o estudo, selecionou-se os solos que mais representavam a geologia da região. Tanto na Serra de São Geraldo como na área dentro da UFV verificou-se duas grandes ocorrências de solos, os residuais maduros e os residuais jovens. Assim, ficaram definidos quatro grupos de solos para estudo, a saber:

- Solo residual maduro da Serra de São Geraldo (SSG-RM);
- Solo residual jovem da Serra de São Geraldo (SSG-RJ);
- Solo residual maduro do Estábulo (EST-RM);
- Solo residual jovem do Estábulo (EST-RJ).

Definidos os grupos de solos a serem estudados, iniciou-se sua caracterização física. A principal finalidade em se caracterizar os solos foi a obtenção de parâmetros que pudessem se correlacionar com a erodibilidade. Além da obtenção de parâmetros para correlações, a caracterização granulométrica dos solos é fundamental para o cálculo da erodibilidade dos solos.

As realizações de ensaios mecânicos em laboratório e em campo, forneceram parâmetros de resistência para os solos estudados. Como foi dito anteriormente, estes parâmetros foram informações fundamentais para a formulação de conclusões em relação às correlações entre a erodibilidade dos solos e seus parâmetros geotécnicos.

O ensaio mecânico feito em laboratório foi o cisalhamento direto, que forneceu dados sobre o ângulo de atrito e coesão dos solos, tanto para as amostras naturais como para as amostras submersas. Em campo executou-se três ensaios de sondagem à percussão e seis ensaios dilatométricos. Estes ensaios foram executados apenas na Serra de São Geraldo por ser uma área, até então, sem nenhum registro de dados geotécnicos. Outra razão para a execução dos ensaios de sondagem à percussão é que apenas na Serra de São Geraldo foram instalados piezômetros, que precisam dos furos de sondagem no terreno para sua implantação.

Os piezômetros foram instalados com a finalidade de informar se as pressões geradas pelos lençóis freáticos, são suficientes para deflagrarem o processo de erosão interna. Esta informação é muito importante, pois o aparelho de Inderbitzen mede apenas a erodibilidade superficial dos solos. Caso tenham sido registrados problemas de erosão interna, deve-se executar ensaios específicos para este fenômeno.

Após fazer a caracterização física e mecânica dos solos estudados, foram executados ensaios de erodibilidade no aparelho de Inderbitzen modificado, construído no laboratório de Geotecnia da UFV.

NOVA VERSÃO DO APARELHO DE INDERBTZEN

INTRODUÇÃO

A Universidade Federal de Viçosa, através do Mestrado em Geotecnia, com suas linhas de pesquisa em Geotecnia Ambiental tem se preocupado em estudar problemas relacionados ao meio ambiente, entre eles os processos erosivos. No ponto de vista do solo, a erodibilidade é a propriedade mais importante no desenvolvimento do processo erosivo e para resoluções de problemas desta natureza é de fundamental importância à obtenção de equipamentos laboratoriais que permitam uma análise mais realista do comportamento do solo frente à erosão.

Um dos equipamentos mais eficientes na análise da erodibilidade do solo é o aparelho de Inderbitzen. Por esta razão, no Laboratório de Geotecnia da UFV, em 1997 confeccionou-se uma versão original do aparelho Inderbitzen ao qual foram propostas várias mudanças de caráter construtivo e metodológico, como foi apresentado no item 3.1.

É notória a evolução do aparelho de Inderbitzen desde sua criação, em 1961. Na UnB, vários trabalhos foram realizados utilizando-se o aparelho Inderbitzen na caracterização da erodibilidade do solo, como o de FÁCIO (1991) e o de SANTOS (1997). Em tais pesquisas foram propostas mudanças

na confecção e na metodologia do ensaio Inderbitzen que proporcionaram um grande ganho na rapidez de ensaio e na economia de água, sem o comprometimento dos resultados.

Com base nas das experiências de outros pesquisadores e nas obtidas no Laboratório de Geotecnia da UFV, foram efetuadas modificações no aparelho inderbitzen, numa tentativa de facilitar a execução dos ensaios e ampliar o conhecimento do comportamento do solo em relação à erosão.

PROJETO E CONSTRUÇÃO DO APARELHO INDERBITZEN

Projetou-se um equipamento capaz de propiciar uma versatilidade nas variações de rampa, no controle de vazão e no ajuste do corpo de prova, tornando o ensaio mais ágil (Figuras 4.1 a 4.4).

Construiu-se um sistema articulado que permite variar a inclinação da rampa entre 0° e 60° , possibilitando a análise da erodibilidade do solo em diversas inclinações (Figura 4.5). Utiliza-se, para a vedação da articulação da rampa, massa de modelar, por ser um material de baixo custo e de fácil manuseio (Figura 4.6).

Para o ajuste do nivelamento foram inseridos quatro parafusos reguladores na base da caixa de entrada da rampa por onde se inicia o escoamento (Figura 4.7).

Com a finalidade de homogeneizar o fluxo de água que escoar sobre a rampa, foi implantada uma barreira de uniformização. Esta barreira é ajustada para cada vazão de ensaio, e controla o escoamento da água por uma saída em sua parte inferior (Figura 4.8).

O controle de vazão é feito através de um rotâmetro, possibilitando a leitura instantânea da vazão (Figura 4.9).

O reservatório de água que alimenta o ensaio foi projetado de tal forma que variações do nível d'água não interfiram na vazão do ensaio. O reservatório é constituído de um ladrão d'água e de dois registros, um de entrada e o outro de saída d'água, que, quando ajustados, asseguram uma constância na vazão de água (Figura 4.10).

De modo a assegurar que o fluxo d'água escoasse somente sobre a amostra, a rampa teve sua largura reduzida de 333 mm, como proposto pelo DNER (1979), para 152 mm, igual ao diâmetro do corpo de prova.

O sistema de fixação das amostras é feito através de um encaixe simples entre o amostrador e a rampa, como pode ser visto na Figura 4.11, e a vedação é assegurada pressionando o amostrador à rampa com o auxílio de uma base e quatro parafusos (Figura 4.12). Caso ocorra vazamento, é aconselhável a utilização de algum vedador como, por exemplo, massa de modelar ou silicone.

Um reservatório de água de 500 L é utilizado para coletar a água proveniente do ensaio, e lançá-la no sistema de esgoto ou no sistema de drenagem pluvial (Figura 4.4). Outra função deste reservatório é servir de suporte para o sistema de sustentação da peneira que é utilizada na coleta do solo erodido.

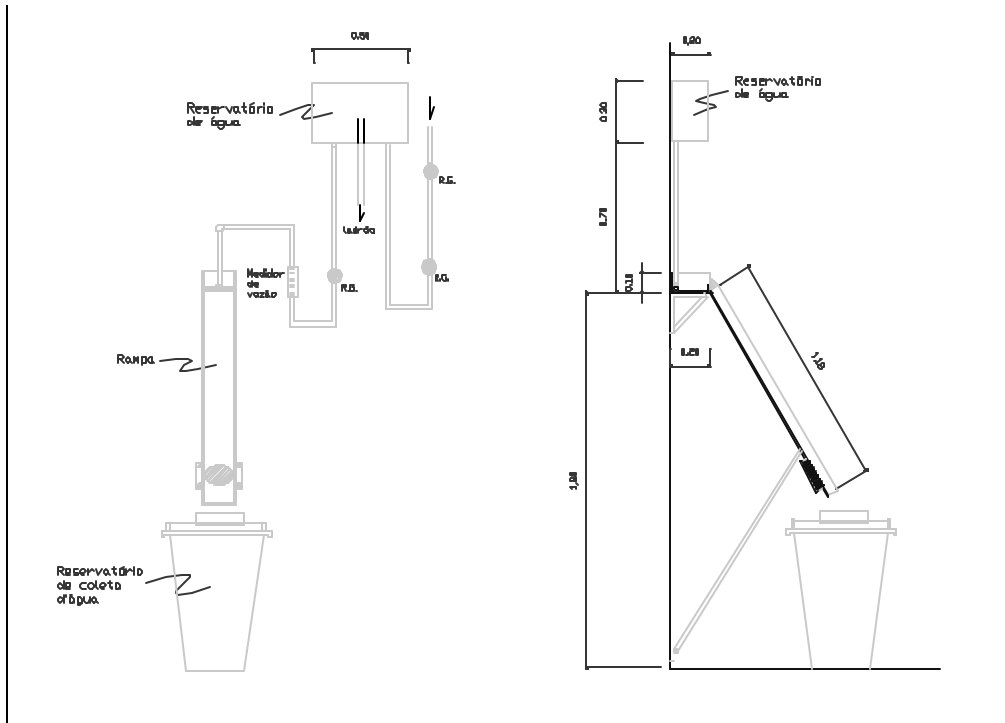


Figura 4.1 – Aparelho de Inderbitzen: da esquerda para a direita, vista frontal e vista lateral, respectivamente (medidas em metros).

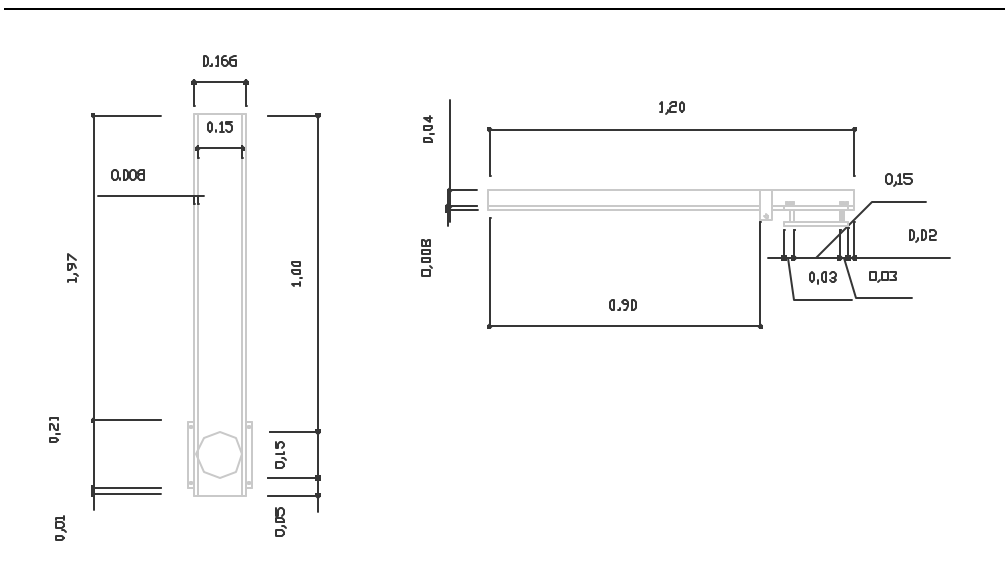


Figura 4.2 – Detalhes da rampa: Planta baixa e corte lateral.(medidas em metros).

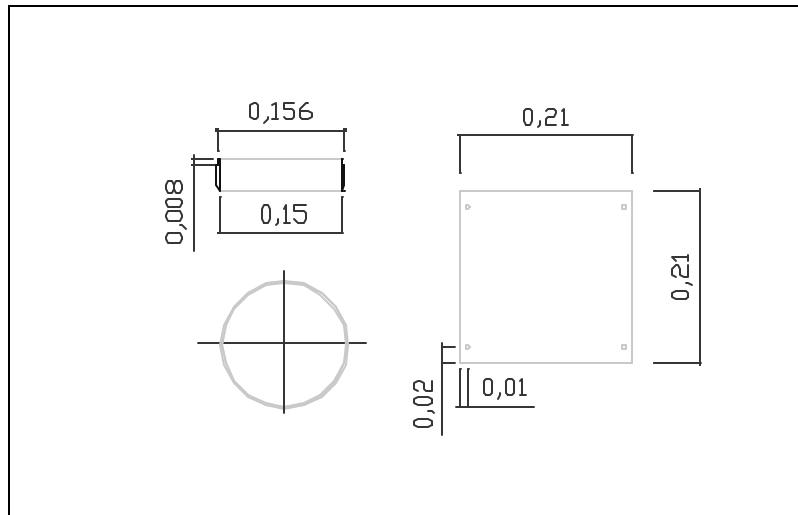


Figura 4.3 – Detalhe da base e do anel mostrador (medidas em metros).



Figura 4.4 – Novo Aparelho Inderbitzen instalado.



Figura 4.5 – Vista da rampa, do rotâmetro e do registro regulador da vazão de saída.



Figura 4.6 – Articulação entre a rampa e a caixa receptora de água.



Figura 4.7 – Base da caixa receptora com seus 4 parafusos niveladores.



Figura 4.8 – Barreira de uniformização: represamento da água e seu escoamento homogêneo pela parte inferior da barreira.



Figura 4.9 – Detalhe do medidor de vazão (Rotâmetro) e do registro de controle.



Figura 4.10 – Reservatório de água para regularizar a vazão de entrada no sistema. Mais a esquerda vêem-se dois registros, o superior é o registro geral e o inferior é o registro controlador da vazão de entrada.

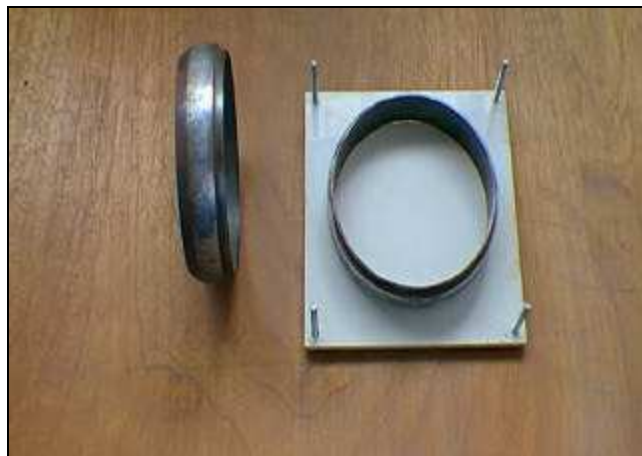


Figura 4.11 – Base do amostrador e anéis amostradores.



Figura 4.12 – Visão lateral do anel amostrador devidamente acoplado na rampa através de quatro parafusos.

METODOLOGIA DO ENSAIO INDERBITZEN

INTRODUÇÃO

Os ensaios de Inderbitzen foram realizados no laboratório de Geotecnia da Universidade Federal de Viçosa no aparelho desenvolvido neste trabalho. A proposta original deste ensaio foi apresentada por Inderbitzen (1961) e consiste na passagem de um fluxo d'água sobre uma amostra indeformada de 152 mm de diâmetro, simulando uma situação real de fluxo superficial.

A partir de uma série de ensaios com variações nos valores de vazão, declividade da rampa e no tempo de ensaio e de saturação da amostra, Fácio (1991) propõe a realização do ensaio sob condições normalizadas que Santos (1997) modifica, visando a obtenção de melhores resultados, ficando como a escolhida para os ensaios realizados neste trabalho.

A principal mudança entre os equipamentos de Santos (1997) e o construído na UFV, está no diâmetro da amostra, 100 mm e 152 mm, respectivamente. Para manter a mesma vazão superficial, aumentou-se proporcionalmente a vazão de 17,5 ml/s para 25 ml/s. Outra adaptação na metodologia é na ponderação das partículas passantes na peneira 200 a partir das curvas de granulometria com defloculante. Santos (1997) utilizava para a ponderação as curvas granulométricas sem defloculantes, pois o autor, partindo do princípio de que o ensaio de Inderbitzen não sofre a ação do defloculante, considera que o solo desagregado é um aglomerado de várias partículas, camuflando a sua granulometria. A mudança feita nesta metodologia baseou-se no fato de que tanto no ensaio de granulometria com defloculante ou sem defloculante, as mudanças efetivas nas curvas granulométricas se davam na fase de sedimentação, que abrangem os diâmetros das partículas inferiores a 0,074 mm (passantes na peneira 200). Assim, para os solos analisados, os resultados da erodibilidade não são influenciados pelo uso de

defloculante na determinação granulométrica, contudo aconselha-se a utilizar os dados dos ensaios sem o uso de defloculante, em função de não se usar defloculante no ensaio de erodibilidade.

PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

As amostras a serem ensaiadas foram moldadas em cilindros de 152 mm de diâmetro e de 40 mm de altura conforme ilustra a Figura 4.13. Em seguida foram parafinadas as duas faces expostas ao meio ambiente, evitando-se assim a perda de umidade.



Figura 4.13 – Amostra de solo devidamente instalada para execução do ensaio Inderbitzen.

Para uniformizar as condições de umidade todos os ensaios foram realizados após um embebedimento tal que levasse a amostra a atingir um nível de saturação próximo ao máximo (100%).

Nesta fase de embebedimento, o procedimento adotado foi o de rasar a superfície superior e em seguida protegê-la com papel filtro, de forma a não desagregá-la ou desestruturá-la. Em seguida, acopla-se o anel à base da rampa do Inderbitzen e satura-se a amostra com a aplicação lenta e gradual de água durante 15 min.

NORMALIZAÇÃO DO ENSAIO

Adotando a metodologia de Santos (1997), os parâmetros ideais de trabalho são:

- Vazão = 25 ml/s ou 1,5l/min, (vazão adaptada para o novo equipamento);
- Tempo de embebedimento: 15min;
- Tempo = 30 min de ensaio; (medições em 5, 10, 15 e 30 min)
- Declividade = 10 graus;

DESCRIÇÃO DO ENSAIO

Com a amostra preparada, ajusta-se a inclinação da rampa e calibra-se a vazão de trabalho, tomando-se o cuidado de proteger a superfície a ser ensaiada com um plástico até que se possa efetivamente iniciar o teste.

Ajustadas a vazão e a declividade, e preparada a peneira para a coleta do material carregado pelo fluxo superficial, retira-se a proteção de plástico e inicia-se o ensaio.

O material coletado pela peneira com 0,074 mm de abertura, nos tempos de 5 min, 10 min, 15 min e 30 min (Figura 4.14), é levado à estufa e depois de seco, é pesado. Ressalta-se que o material passante na peneira 200 representa uma fração expressiva dos solos analisados. Deste modo, os resultados foram plotados sob a forma de perda de solo ponderada pela fração

maior que 0,074 mm. Estas frações são provenientes das curvas granulométricas.

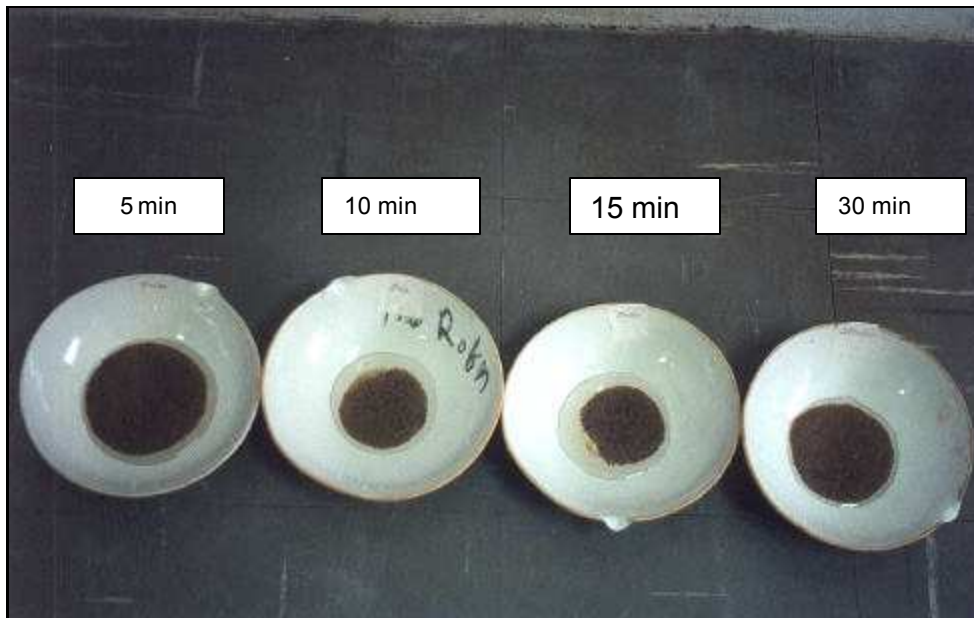


Figura 4.14 – Solos desagregados para os tempos de 5, 10, 15 e 30 min, retidos na peneira 200.

A apresentação dos resultados de erodibilidade deve ser em forma de gráficos que expressem nas ordenadas as perdas de solos (g/mm^2) e nas abcissas o tempo (min).

Na Figura 4.15 apresenta-se o estado de uma amostra após o ensaio de Inderbitzen.



Figura 4.15 – Exemplo de uma amostra após o ensaio Inderbitzen.

MATERIAL NECESSÁRIO

Para a realização dos ensaios na versão modificada do Aparelho de Inderbitzen necessita-se:

- Aparelho de Inderbitzen;
- 02 jogos de peneiras n^o 200;
- 01 cronômetro com precisão de 1s;
- Papel filtro Whatman;
- Balança de precisão até 0,01g;
- Espátulas, cápsulas e demais equipamentos de laboratório.

RECOMENDAÇÕES PARA EXECUÇÃO DO ENSAIO

Algumas recomendações são descritas abaixo para a execução dos ensaios de erodibilidade usando o Aparelho de Inderbitzen modificado:

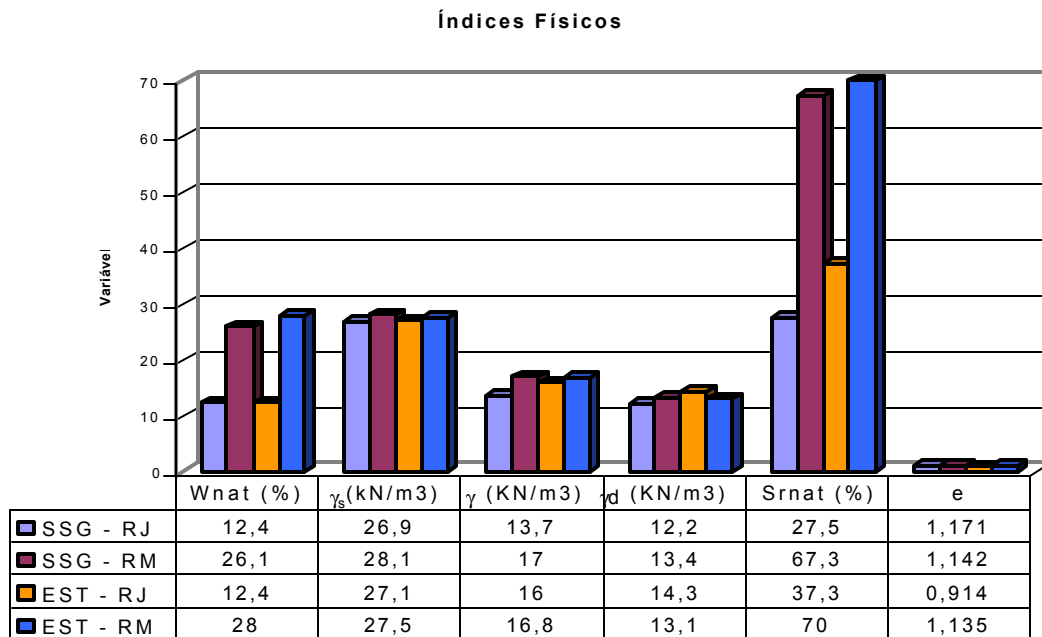
- Antes de iniciar o ensaio, deve-se limpar, com álcool, a rampa do equipamento, a fim de diminuir a interferência de substâncias gordurosas que modificam o fluxo laminar do escoamento superficial;
- Estar prevenido para o transbordamento de solo na peneira, quando os ensaios forem executados em solos muito erodíveis. Neste caso, recomenda-se a coleta de toda a água e sedimentos em um recipiente capaz de acumular os volumes gerados para cada tempo de ensaio (5, 10, 15 e 30 min). Só após do término do ensaio, o operador deve preocupar-se em peneirar e lavar o solo erodido, sem aplicar pressão nos grãos de solo contra a peneira, evitando a perda de solo;
- Caso ocorra a concentração de fluxo na rampa, primeiro nivelar o equipamento. Continuando o problema, utilizar a barreira de contenção d'água, de modo que o escoamento permaneça homogêneo. Este procedimento requer um pouco de habilidade, recomenda-se que o operador treine antes de executar os ensaios;
- No surgimento de infiltrações entre as ligações dos anéis amostradores com a base da rampa, a utilização de massa de modelar é suficiente para a vedação. Tomar cuidado de não apertar demasiadamente os parafusos da base para não danificar o equipamento;
- A entrada de ar nas tubulações do equipamento é um problema sério. Caso o medidor de vazão esteja operando em presença de bolhas de ar ele não medirá a vazão corretamente, prejudicando todo o ensaio. Recomenda-se manter sempre água dentro das tubulações que saem do reservatório até a saída d'água no equipamento;

- Apesar do ensaio poder ser executado com apenas um operador, é aconselhável ter sempre mais um por perto, para eventuais imprevistos, pois o ensaio de erodibilidade não pode ser parado durante os 30 min de execução.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Para a caracterização dos solos estudados foram realizados ensaios de análise granulometria conjunta, limites de consistência, expansibilidade LNEC, permeabilidade, massa específica dos solos, além de determinação dos índices físicos dos solos.

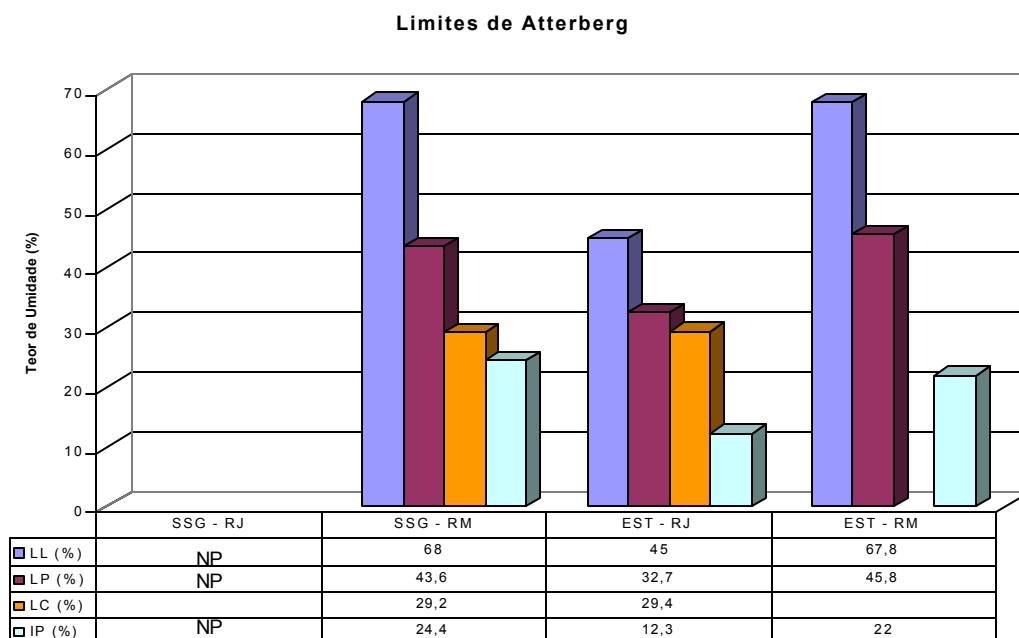


Quadro 5.1 – Índices Físicos dos Solos

A análise do Quadro 5.1 mostra, de modo geral, as seguintes características dos solos:

- Os solos residuais maduros apresentam valores maiores para a umidade natural devido à presença de argila, que tem maior poder de retenção d'água.
- O peso específico dos sólidos representa a média da massa específica dos constituintes que compõem a fase sólida do solo, incluindo minerais, compostos orgânicos, sais precipitados e materiais cristalinos. Os solos residuais jovens, por apresentarem maior porcentagem de quartzo, apresentam valores menores de massa específica dos sólidos.
- O peso específico natural do solo residual jovem da Serra de São Geraldo apresentou um valor muito baixo em relação aos outros solos ensaiados, devido, principalmente, a este apresentar o maior índice de vazios e o menor grau de saturação dentre os solos estudados, além de sua granulometria ser fundamentalmente arenosa, com o coeficiente de uniformidade $C_u = 10$, o menor valor dentre os solos analisados.
- O grau de saturação está relacionado com a capacidade de retenção d'água. Os solos com maiores porcentagens de finos, os residuais maduros têm maiores graus de saturação.
- O índice de vazios dos solos é função, principalmente, da granulometria dos solos e de sua compactação ou compacidade. Solos bem graduados com presença de partículas grossas, médias e finas, tendem a apresentar um índice de vazios menor que os solos excepcionalmente arenosos, como pode ser visto nos solos residuais jovens da Serra de São Geraldo.

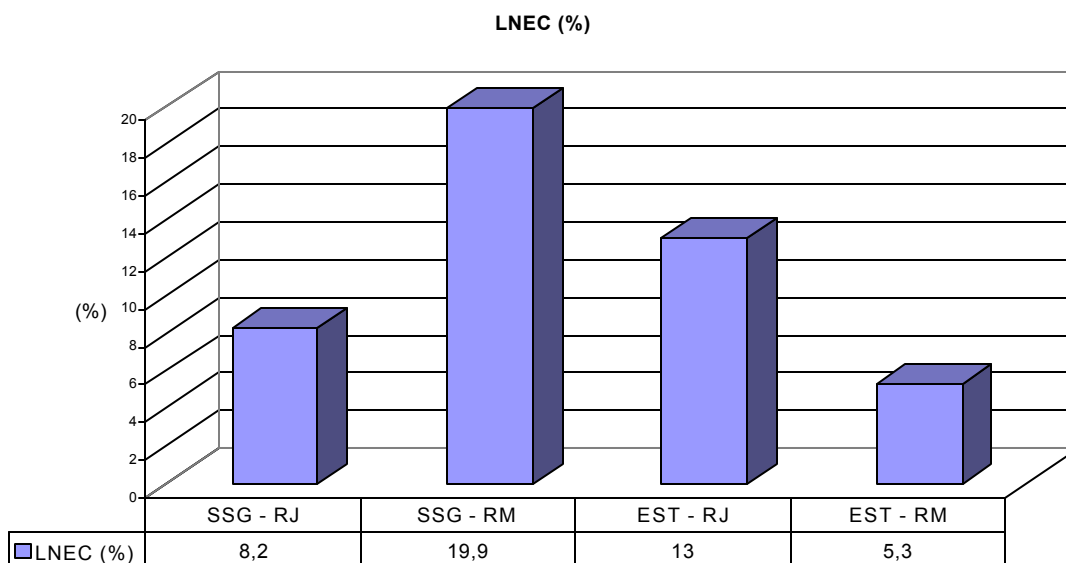
O Quadro 5.2 apresenta os resultados dos limites de Atterberg para os solos em análise. Vários são os fatores que influenciam na plasticidade do solo: mineralogia; porcentagem da porção argila; matéria orgânica, etc. O solo residual jovem da Serra de São Geraldo, por ser um solo essencialmente arenoso (quartzo), é um solo não plástico com ausência de limite de liquidez e o solo residual jovem do estábulo apresentou um índice de plasticidade baixo, igual a 12,3% . Já os solos residuais maduros apresentaram plasticidade em torno dos 23%, valor ainda considerado baixo. O limite de contração foi executado com o intuito de verificar se havia alguma relação com a erodibilidade.



Quadro 5.2 – Limites de Atterberg.

Os ensaios de expansibilidade LNEC estão apresentados no Quadro 5.3. Analisando os dados, verifica-se que o solo residual maduro da Serra de São Geraldo apresentou um valor bem superior de expansibilidade, igual a 19,9%. Para os solos do Estábulo, o residual jovem apresentou um valor superior ao residual maduro, indicando que o horizonte C deste perfil geológico é mais expansivo. Apesar do solo SSG-RM e EST-RM apresentarem granulometria e

plasticidade semelhantes, a expansibilidade LNEC apresentou-se muito diferente para estes solos, sendo explicado pela existência de Na^+ no SSG-RM.



Quadro 5.3 – Expansibilidade LNEC.

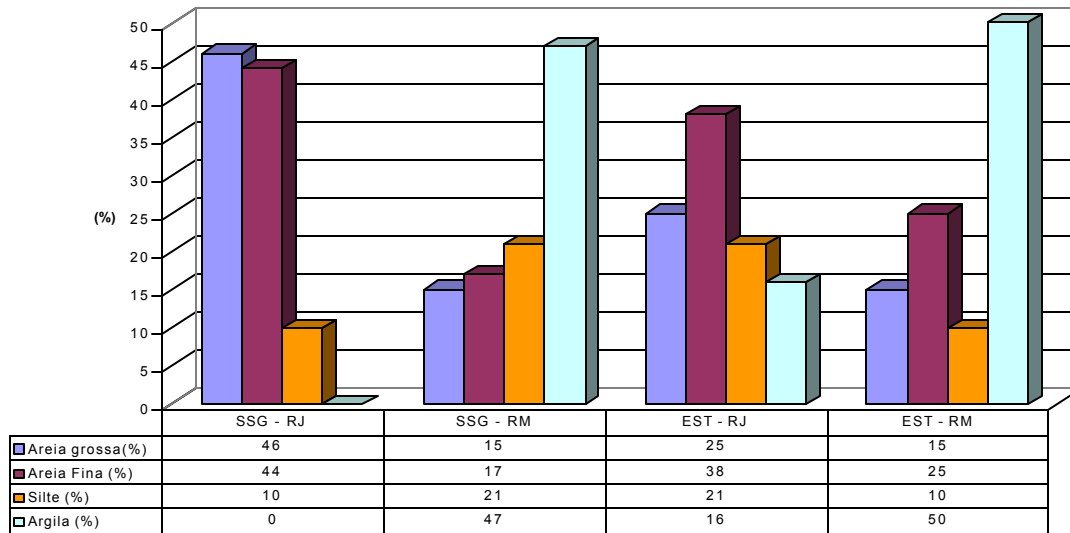
Os ensaios de granulometria são apresentados em forma de porcentagem de areia, silte e argila no Quadro 5.4 e em forma de curvas granulométricas nas Figuras 5.1 a 5.4.

Em relação aos resultados obtidos podemos concluir que:

- O solo residual jovem da Serra de São Geraldo é arenoso, com 90% de areia e 10 de silte, tendo um $C_u = 10$, tratando-se, portanto, de um solo bem graduado.
- O solo residual jovem do Estábulo é um solo com 60% de areia, 21% de silte e 16% de argila, com o coeficiente de uniformidade $C_u=100$, tratando-se, portanto, de um solo bem graduado.
- Os solos residuais maduros da Serra de São Geraldo e do Estábulo têm as mesmas características granulométricas,

variando apenas um pouco nas porcentagens de areia e silte, em torno de 10 %. São solos bem graduados com porcentagem aproximadas de 50% de argila.

GRANULOMETRIA



Quadro 5.4 – Granulometria segundo a ABNT.

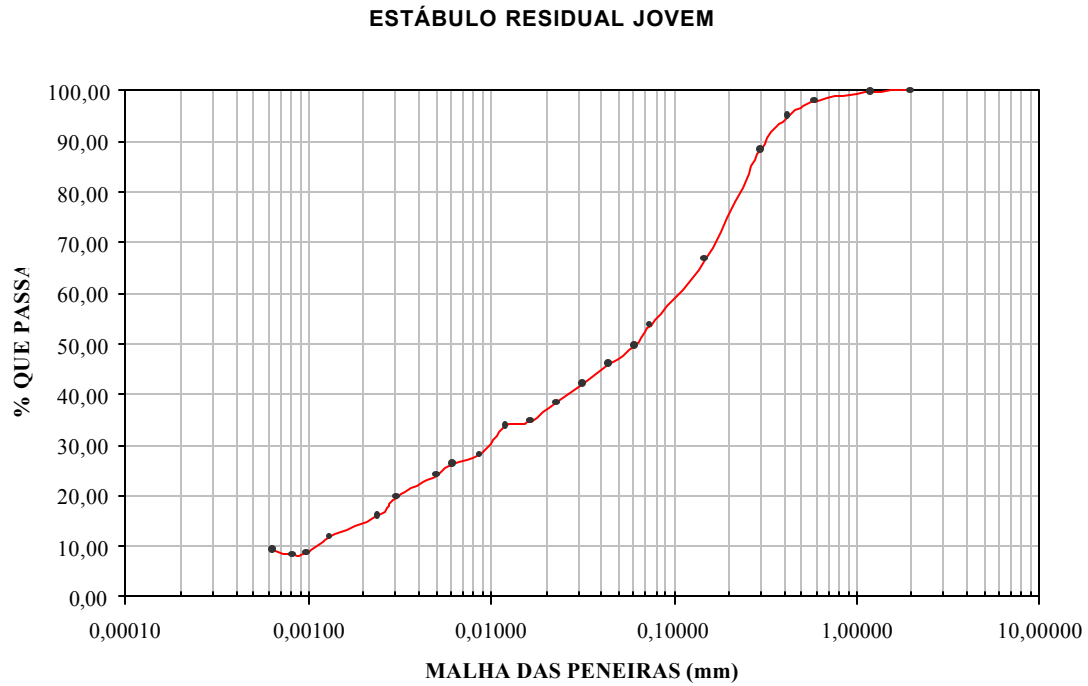


Figura 5.1 – Curva granulométrica do solo do Estábulo, Residual Jovem.

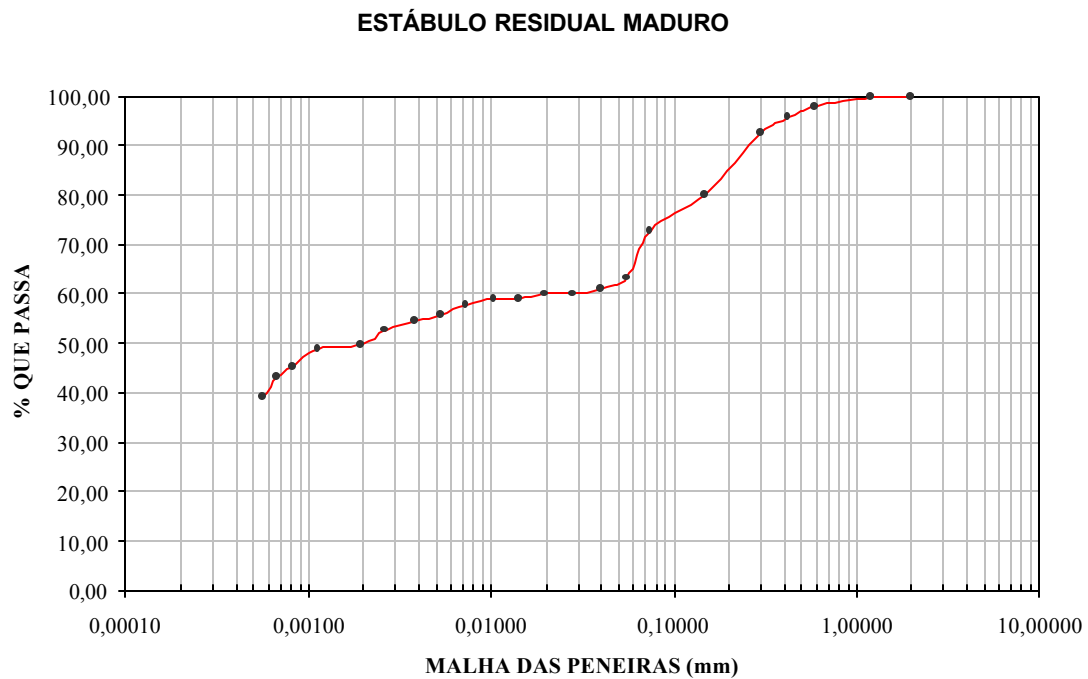


Figura 5.2 – Curva granulométrica do solo do Estábulo, Residual Maduro.

SERRA SÃO GERALDO RESIDUAL MADURO

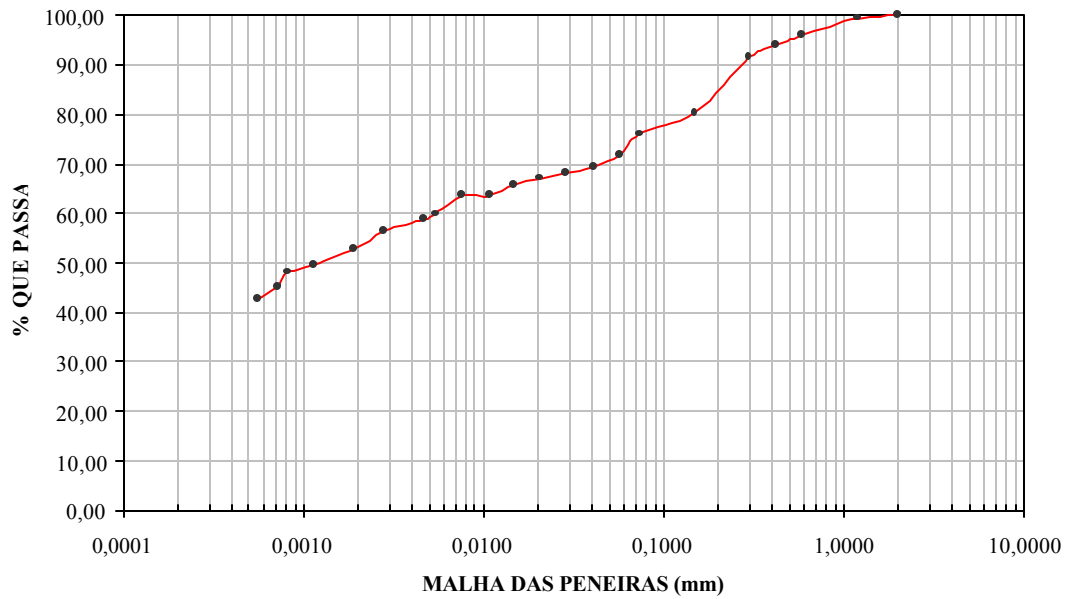


Figura 5.3 – Curva granulométrica do solo da Serra de São Geraldo, Residual Maduro.

SERRA DE SÃO GERALDO RESIDUAL JOVEM

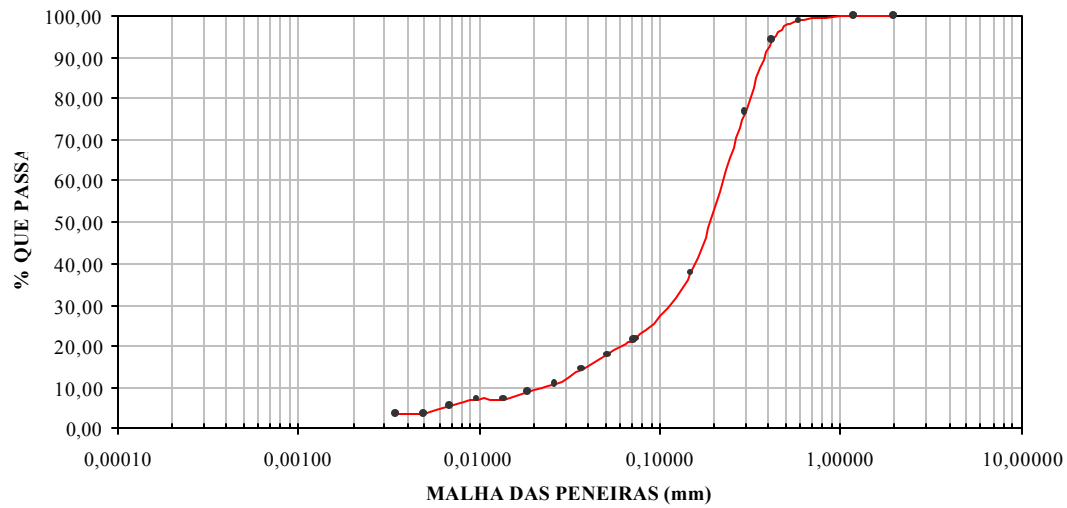
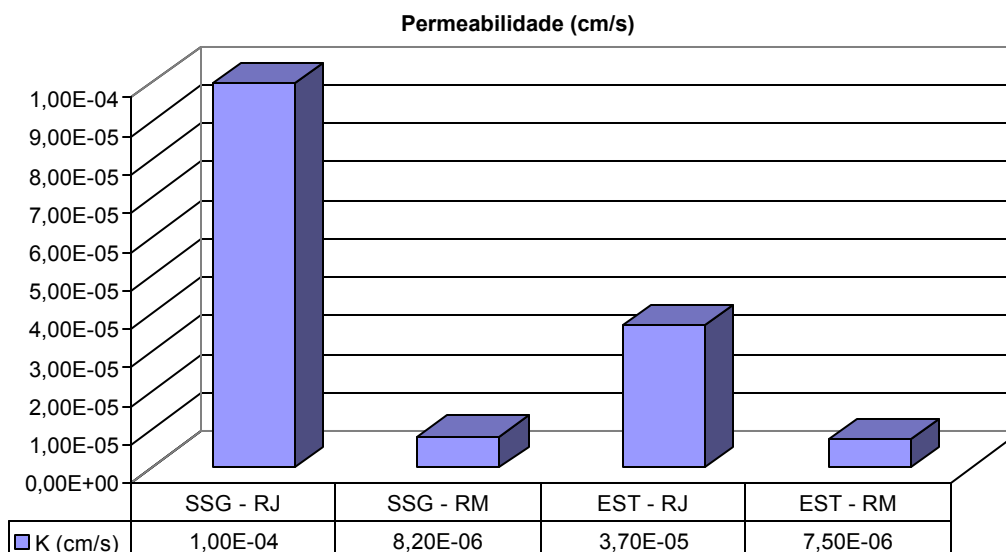


Figura 5.4 – Curva granulométrica do solo da Serra de São Geraldo, Residual Jovem.

No Quadro 5.5, são mostrados os resultados dos ensaios de permeabilidade executados para os solos em análise. Verificou-se que os solos residuais jovens são mais permeáveis que os solos residuais maduros, como era de se esperar, em função da granulometria, apesar do índice de vazios ser muito parecido para os solos analisados.



Quadro 5.5 – Permeabilidade.

Com base nos resultados obtidos da caracterização, classificou-se os solos segundo a carta de plasticidade de Casagrande (ASTM D 2487-85). O resultado da caracterização e da classificação dos solos é apresentado a seguir no Quadro 5.5.

SOLOS	CLASSIFICAÇÃO
SSG-RM	Silte plástico arenoso
SSG-RJ	Areia bem graduada
EST-RM	Silte plástico arenoso
EST-RJ	Areia siltosa

Quadro 5.5 – Classificação dos solos (ASTM D 2487-85).

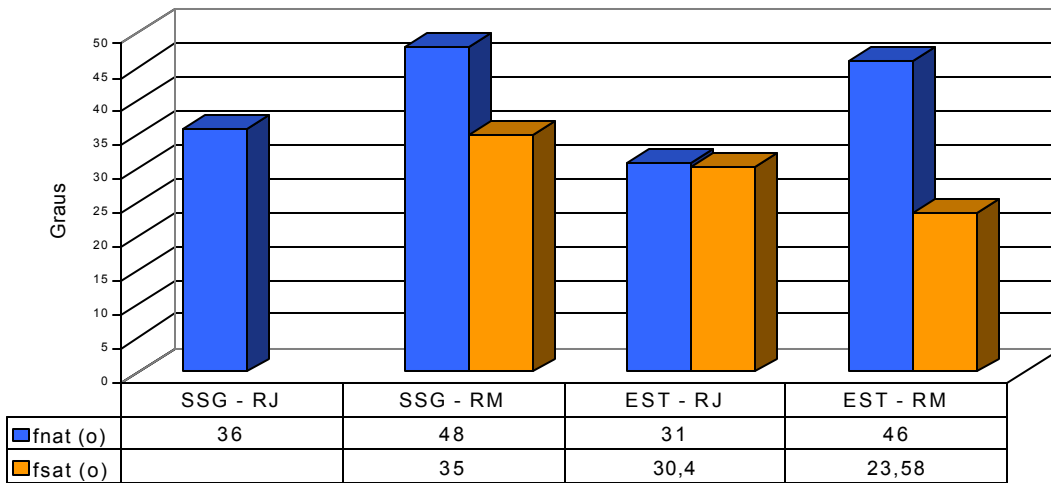
Apesar da presença de aproximadamente 50% de argila nos solos residuais maduros, eles foram classificados como silte plástico arenosos, devido ao baixo índice de plasticidade. Os solos residuais jovens da Serra de São Geraldo e do Estábulo foram classificados como areia bem graduada e areia siltosa, respectivamente.

ENSAIOS ESPECIAIS

Como foi proposto, os ensaios de cisalhamento direto foram executados com amostras naturais e amostras submersas, com exceção do solo residual jovem da Serra de São Geraldo, para os quais se executou apenas ensaios de cisalhamento direto em amostras naturais. Os resultados, obtidos para cada ensaio, são apresentados no Apêndice (Figura 1A a Figura 21A), em forma de três gráficos: Envoltória de tensões; Variação de volume para diferentes tensões axiais; e variação da tensão cisalhante para as diferentes tensões axiais. Como forma de resumo apresentam-se os Quadros 5.6 e 5.7, que são os resultados do ângulo de atrito e coesão, respectivamente.

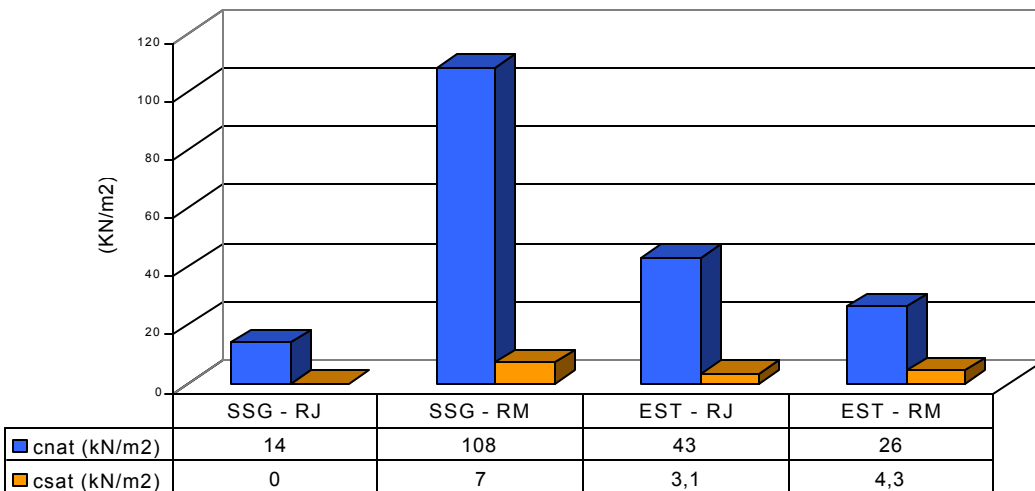
Analisando-se os resultados dos solos residuais maduros observou-se alto o valor do ângulo de atrito do solo em amostras naturais, ensaiadas sem a presença de água. Tais valores podem ser provenientes da anisotropia encontrada nos solos saprolíticos, como apresentado na envoltória de tensões para a amostra SSG-RM, na Figura 18A do Apêndice, onde se observa uma anomalia na curva de envoltória para a tensão confinante de 1,0 Kgf/cm². Entretanto, não se constatou tal comportamento para as amostras EST-RM, podendo, ainda, esta acontecendo comportamentos peculiares, como, por exemplo, a agregação dos finos, que se torna ausente na presença de água.

Ângulo de Atrito



Quadro 5.6 – Cisalhamento Direto, ângulo de atrito.

Coesão (KN/m²)



Quadro 5.7 – Cisalhamento Direto, coesão.

Os ensaios de erodibilidade foram executados no Aparelho de Inderbitzen para três amostras de cada solo ensaiado. Os resultados podem

ser vistos nas Figuras 5.5 a 5.8, além da Figura 5.9 que mostra os resultados médios para cada solo.

Analisando-se os resultados, observou-se que para os solos da Serra de São Geraldo ocorreu uma variação considerável, decorrente da anisotropia presente nas amostras, como pode ser visto na Figura 4.15, ou ainda problemas relacionados à geometria do corpo de prova. Mesmo ocorrendo dispersão nos resultados, verifica-se que os solos residuais jovens são mais susceptíveis à erosão, e dentre eles o residual jovem do Estábulo é o mais erodível. Os residuais maduros tiveram valores bem próximos de erodibilidade, podendo ser considerados iguais. Em função da variação dos resultados individuais observadas para o solo da Serra de São Geraldo no cálculo dos valores médios descartou-se resultado dos ensaio SSGRM1 e SSGRJ2.

Dentre os solos residuais jovens, as amostras do Estábulo apresentaram-se mais erodíveis, em desacordo com a previsão de VARGAS (1977), onde afirma que a erodibilidade para os solos arenosos é tanto maior quanto mais uniforme for sua granulometria.

Os valores apresentados de erodibilidade foram altos comparados aos encontrados por SANTOS (1997), que são da ordem de 0,16 a 0,01 g/cm². Esta disparidade pode estar relacionada à textura do solo ou, conforme a Figura 4.15, pode haver problema de montagem e de geometria do corpo de prova, sendo necessário estudar a influência desta nos ensaios, como por exemplo, através do uso de amostras quadradas.

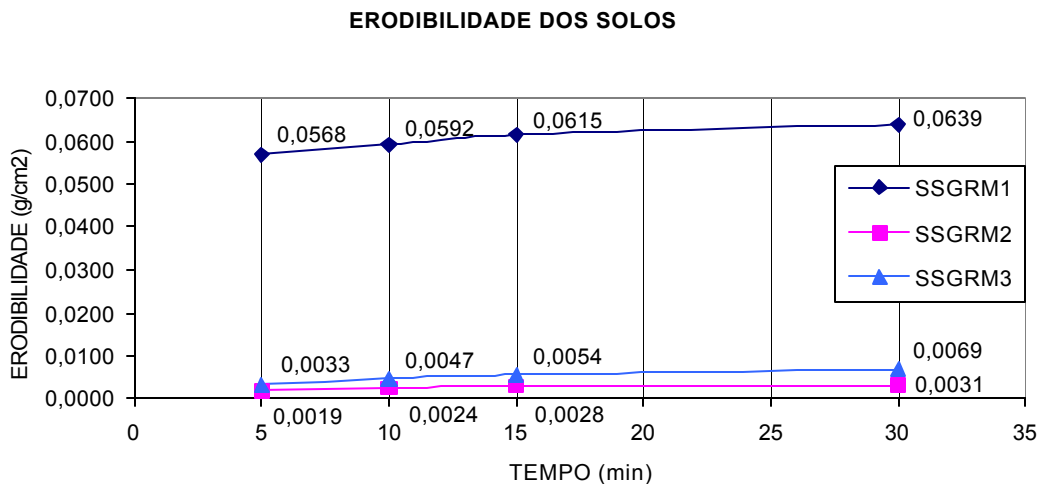


Figura 5.5 – Erodibilidade para as três amostras do solo residual maduro da Serra de São Geraldo.

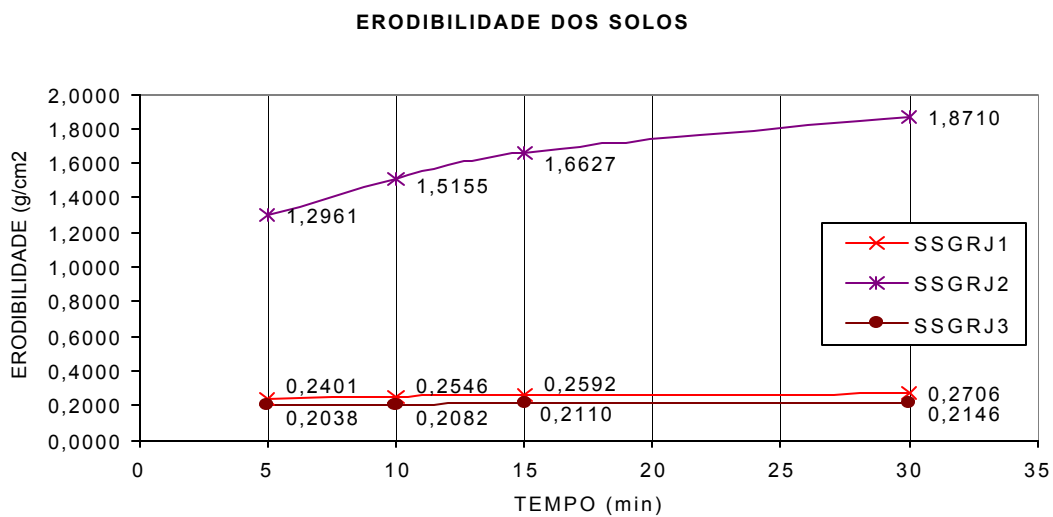


Figura 5.6 – Erodibilidade para as três amostras do solo residual jovem da Serra de São Geraldo.

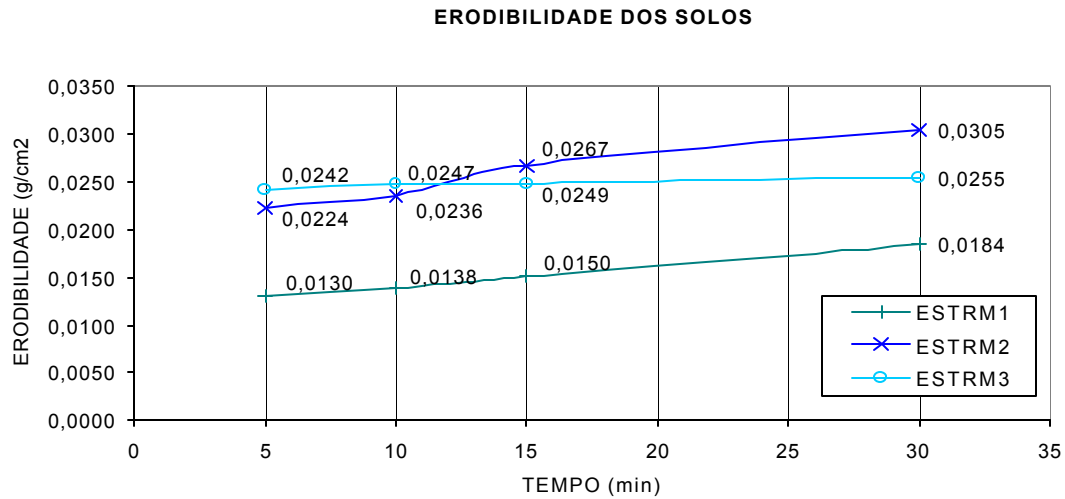


Figura 5.7 – Erodibilidade para as três amostras do solo residual maduro do Estábulo.

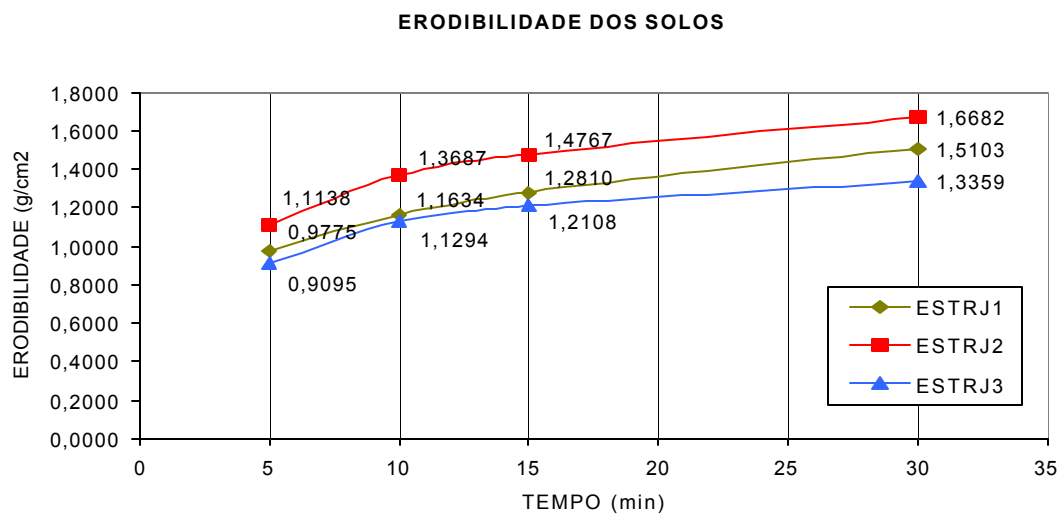


Figura 5.8 – Erodibilidade para as três amostras do solo residual jovem do Estábulo.

ERODIBILIDADE DOS SOLOS

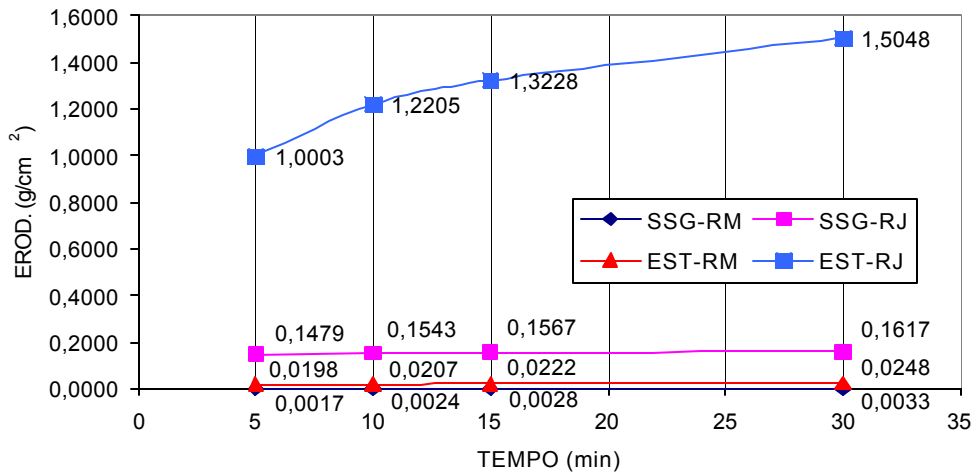


Figura 5.9 – Erodibilidade média dos solos.

Na tentativa de se obter uma correlação direta entre a erodibilidade dos solos com alguma de suas características físico-químicas, e, diante de experiências anteriores dos demais estudiosos, vislumbrou-se a possibilidade de que a granulometria teria um maior peso frente à susceptibilidade de perda de sólidos. Partindo do princípio de que as argilas e as areias grossas são mais resistentes à desagregação do que os siltes e as areias finas, analisou-se a correlação da erodibilidade com o quociente da porcentagem dos solos erodíveis com os solos não erodíveis. Na Figura 5.10 é apresentada a correlação matemática obtida para esta análise.

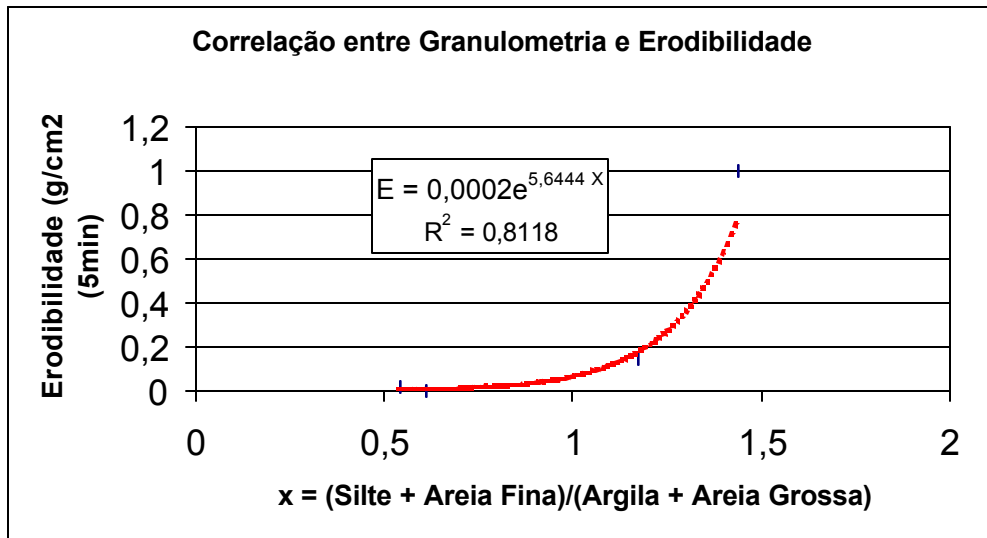


Figura 5.10 – Correlação entre a granulometria do solo com a erodibilidade, tomada para os primeiros 5 min de ensaio.

A correlação entre a granulometria e a erodibilidade é exponencial, tendo um fator de correlação $r^2 = 0,8118$. Abaixo segue a formulação matemática encontrada:

$$E = 0,0002e^{5,6444 X} \quad \text{Equação – 5.1}$$

Onde,

E = erodibilidade (g/cm²)

X = (%Silte + %Areia Fina) / (%Argila + %Areia Grossa)

ENSAIOS QUÍMICOS

Os ensaios químicos foram executados usando-se as metodologias apresentadas no Capítulo 3. O Quadro 5.8 apresenta um resumo dos resultados para os solos analisados. A variação de **Na** pode ser a causa da diferença expressiva na expansibilidade LNEC entre as amostras SSG-RM e EST-RM, já que suas características físicas (granulometria e plasticidade) são muito parecidas.

Segundo DUN (1959), *in* Vargas (1977), a resistência trativa dos solos diminui com o aumento da relação de absorção de sódio, esperando-se que as amostras SSG-RJ e SSG-RM sejam mais erodíveis, o que não ocorreu, ficando claro que a erodibilidade do solo não pode ser analisada puramente através da composição química.

SOLOS	Na Mg/dm³	CTC – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (cmol_c/dm³)	MO – Matéria Orgânica (dag/kg)
SSR-RJ	9,9	1,54	0,19
SSG-RM	4,9	1,12	0,65
EST-RJ	0,0	0,97	0,19
EST-RM	0,0	0,17	0,39

Quadro 5.8 – Sódio, capacidade de Troca Catiônica Efetiva e Matéria Orgânica.

ENSAIOS DE CAMPO

Os resultados das análises piezométricas desenvolvidas na Serra de São Geraldo são apresentados na Figura 5.11, a partir do qual pode-se concluir que o nível d'água das áreas inspecionadas não variou significativamente para o período registrado.

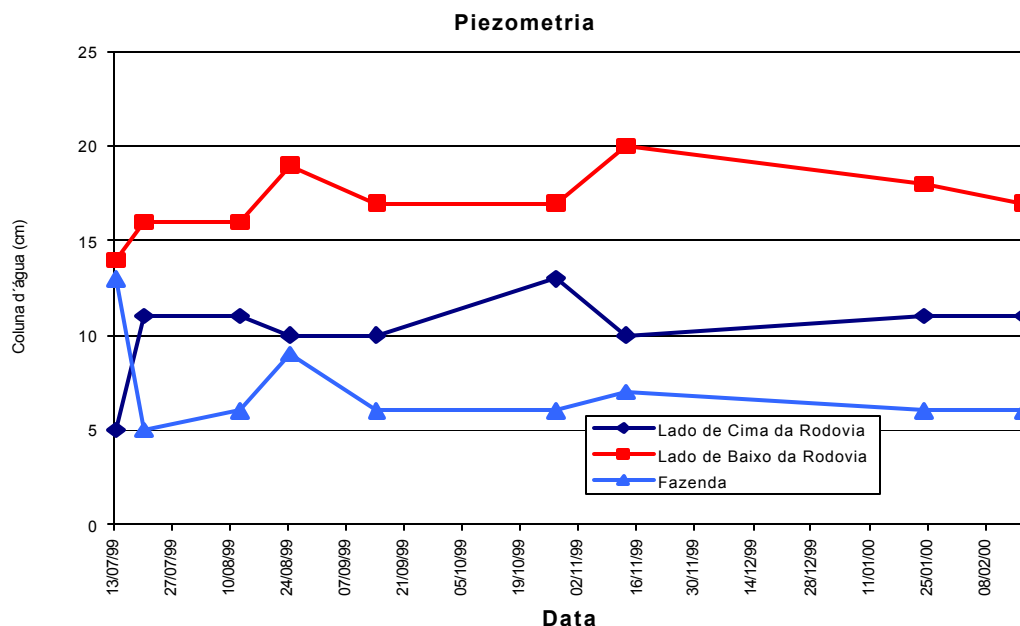


Figura 5.11 – Piezometria da Serra de São Geraldo.

Os laudos técnicos dos ensaios de sondagens à percussão e dos ensaios de sondagens dilatométricas estão presentes no Apêndice nos Quadros 1A a 9A. Nestes relatórios pode-se ver o perfil geotécnico das áreas investigadas, bem como sua resistência mecânica expressa no N_{SPT} . Observa-se que os perfis geotécnicos obtidos das sondagens à percussão mostram uma descontinuidade, devido à pedogenética do solo saprolítico, com a presença marcante da anisotropia.

Foram elaborados os Quadros 6.1 a 6.3 que comparam os ensaios geotécnicos de investigação de campo (SPT e DMT) para os perfis de cada local ensaiada da Serra de São Geraldo. Os resultados mostraram boas correlações na classificação dos solos siltosos e arenosos.

Analisando-se os resultados obtidos, conclui-se que o perfil geológico desta região é formado por uma camada de solo argilo-arenoso, variando sua espessura entre 1,5 a 2,5 m e uma camada de solo silte-arenoso a areia-siltosa, com espessura de variando entre 8,0 e 14,0 m. Mais abaixo encontrou

–se alteração de rocha com características marcantes da rocha origem, o gnaisse.

Como classificado anteriormente, o solo superficial (coluvionar) da Serra de São Geraldo é resistente à erosão, porém o solo logo abaixo desta camada é formado basicamente de silte e areia, característica que o faz ser susceptível ao processo erosivo. O principal fator que deflagrou o desenvolvimento da voçoroca na área foi o lançamento da drenagem superficial da Rodovia BR-120, que concentrou as águas pluviais, gerando grande aumento da energia cinética no fluxo superficial, capaz de erodir a camada superficial de solo, que mantinha em equilíbrio entre o sistema biótico e abiótico da Área.

Ensaio de investigação - Lado de baixo da rodovia			
Profundidade (m)	DMT 01	DMT 02	SPT
	1,45	AREIA SILTOSA	AREIA SILTOSA
2,45	AREIA SILTOSA	AREIA SILTOSA	ARGILA ARENOSA MICÁCEA VERMELHA
3,45	AREIA SILTOSA	SILTE ARENOSO	SILTE ARENOSO MICÁCEO VERMELHO
4,45	SILTE ARENOSO	AREIA SILTOSA	AREIA MICÁCEA FINA SILTOSA VERMELHA
5,45	SILTE ARENOSO	SILTE	AREIA FINA MICÁCEA COR V G (PRETA)
6,45	SILTE ARGILOSO	AREIA SILTOSA	AREIA FINA MICÁCEA AMARELA
7,45	SILTE ARENOSO	AREIA SILTOSA	SILTE POUCO ARENOSO COR VARIEGADA
8,45	SILTE ARENOSO	SILTE ARENOSO	SILTE ARENOSO MICÁCEO COR VG
10,45	AREIA SILTOSA	SILTE ARENOSO	AREIA FINA MICÁCEA COR VARIEGADA
11,45	SILTE ARENOSO	SILTE ARENOSO	
12,45	SILTE ARENOSO	SILTE ARENOSO	
13,45	AREIA SILTOSA	AREIA SILTOSA	ALTERAÇÃO DE ROCHA +MICA, COR VG

Quadro 6.1 – Representação do perfil geológico caracterizado pelos ensaios de campo SPT e DMT. Lado de baixo da rodovia.

Ensaio de investigação - Lado de cima da rodovia			
Profundidade (m)	DMT 03	DMT 04	SPT
1,45	AREIA SILTOSA	SILTE ARENOSO	ARGILA ARENOSA AMARELA/MARROM
2,45	AREIA SILTOSA	SILTE	SILTE ARGILO ARENOSO AMARELO
3,45	AREIA SILTOSA	SILTE ARENOSO	SILTE ARENOSO AMARELO
4,45	AREIA SILTOSA	AREIA SILTOSA	AREIA FINA POUCO SILTOSA COR BRANCA
5,45	AREIA	SILTE ARENOSO	
6,45	AREIA	SILTE ARENOSO	VEIO DE AREIA SILTOSA MARROM
7,45	AREIA	SILTE ARENOSO	AREIA FINA POUCO SILTOSA COR VG
8,45	AREIA	AREIA SILTOSA	AREIA FINA POUCO MICÁCEA , VG (PRETO)
9,45	AREIA SILTOSA	SILTE ARENOSO	ALTERAÇÃO DE ROCHA
10,45			ALTERAÇÃO DE ROCHA

Quadro 6.2 – Representação do perfil geológico caracterizado pelos ensaios de campo SPT e DMT. Lado de cima da rodovia.

Ensaio de investigação - Fazenda			
Profundidade (m)	DMT 05	DMT 06	SPT
	1,45	AREIA SILTOSA	AREIA SILTOSA
2,45	SILTE ARENOSO	AREIA SILTOSA	AREIA VARIEGADA
3,45	SILTE ARENOSO	AREIA SILTOSA	AREIA FINA MICÁCEA ESCURA
4,45	SILTE ARENOSO	SILTE ARENOSO	
5,45	SILTE ARENOSO	SILTE ARENOSO	AREIA FINA MICÁCEA COR VARIEGADA
6,45	AREIA SILTOSA	SILTE	
7,45	SILTE ARENOSO		AREIA FINA MICÁCEA ESCURA

Quadro 6.3 – Representação do perfil geológico caracterizado pelos ensaios de campo SPT e DMT. Localizado na fazenda, na Serra de São Geraldo.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

CONCLUSÕES

O Aparelho Inderbitzen, desenvolvido neste trabalho, suprimiu quase todas as deficiências observadas no artigo equipamento desenvolvido no Laboratório de Geotecnia da UFV, mostrando-se capaz de executar ensaios de erodibilidade para diferentes condições, variando a vazão entre 1l/min até 12 l/min e a inclinação da rampa de 0° a 90°. Cogitou-se a possível interferência da geometria da amostra nos resultados dos ensaios. A forma cilíndrica do amostrador pode ter ocasionado concentração de fluxo d'água nas bordas das amostras da Serra de São Geraldo, não podendo descartar-se possíveis falhas na escolha e montagem dos corpos de provas. Outro fator importante que influenciou nos resultados deste trabalho foi a presença marcante da anisotropia nas amostras, principalmente nos solos Residuais Jovens.

Em relação à pesquisa realizada conclui-se que vários são os fatores que influenciam a erodibilidade dos solos, como, por exemplo, a absorção de sódio, que teve influência direta na expansibilidade LNEC; a plasticidade; teor de matéria orgânica; etc. Entretanto, a granulometria mostrou-se ter a maior parcela de influência na erodibilidade dos solos, podendo ser parâmetro individual para uma avaliação prévia da erodibilidade. Os solos residuais jovens, com a presença de uma granulometria constituída por areia fina e silte,

são solos mais susceptíveis à erosão que os solos com granulometria argilosa. Partindo dessa premissa, verificou-se uma correlação entre a granulometria e a erodibilidade para os solos analisados, mostrada na Equação 5.1, a saber:

$$E = 0,0002 e^{5,6444 X}$$

Onde,

E = erodibilidade (g/cm²)

X = (%Silte + %Areia Fina) / (%Argila + %Areia Grossa)

Contudo, mais ensaios terão que ser realizados para a confirmação da existência desta correlação.

Com base nos resultados da erodibilidade dos solos ensaiados, segundo o DNER, os mesmos ficam classificados da seguinte forma:

- Solo residual jovem do Estábulo: para os 5 min, a velocidade de erosão é 12 g/cm²/hora, classificando um comportamento regular frente à erosão;
- Solo residual maduro do Estábulo: para os 5 min, a velocidade de erosão é 0,24 g/cm²/hora. Classificado como resistente à erosão;
- Solo residual jovem da Serra de São Geraldo: para os 5 min, a velocidade de erosão é 1,77 g/cm²/hora. Classificando um comportamento regular frente à erosão;
- Solo residual jovem da Serra de São Geraldo: para os 5 min, a velocidade de erosão é 0,02 g/cm²/hora. Classificado como resistente à erosão;

RECOMENDAÇÕES

A análise dos resultados apresentados nesta pesquisa permite sugerir as seguintes recomendações:

- Verificar se a geometria do amostrador influencia no fluxo d'água atuante sobre a amostra. Uma proposta seria a mudança do amostrador cilíndrico para um quadrado;
- Executar mais ensaios com amostras naturais para verificação de correlação da erodibilidade com as frações sólidas do solo;
- Estudo mais aprofundado da ação do sódio na erodibilidade dos solos, verificando seu nível de influência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, Marcelo Augusto Tavares de. **Estudo da Erodibilidade de Alguns Solos do Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado, São Carlos, SP, 129 p., 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA - ABGE. **Glossário de Termos Técnicos de Geologia de Engenharia**. 139p., 1985.
- AZEVEDO, M.A.A. **Contribuição ao estudo geotécnico de solos de Viçosa – MG**. Viçosa, MG: UFV, 1999, 129p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- BASTOS, Cezar Augusto Burkert, MILITITSKY, Jarbas e DIAS, Regina Davison. **Avaliação Geotécnica Da Erodibilidade De Solos Residuais A Região Metropolitana De Porto Alegre**. VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Presidente Prudente, SP, 1998.
- BUENO, B. de Souza & VILAR, O. Monje. **Mecânica dos Solos**. Viçosa Imprensa Universitária. 131p. Apostila, n^o 69, 1980.
- CARDOSO, D.L. **Contribuição à identificação e tratamento dos solos expansivos da Região de Viçosa-MG**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 194p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- CARVALHO FILHO, A. **Caracterização mineralógica, química e física de solos de duas unidades de paisagem do planalto de Viçosa-MG**. Viçosa, MG: UFV, 1989. 114p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1989.
- CASTRO, DE ELDA. **Soil Swelling Test**. Technical Paper n^o 235. Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal. Lisboa, 1964.
- CERRI, L. E. da Silva, SILVA, J. A. Ferreira da & SANTOS, P. H. Pereira dos. **Erosão do Solo: Aspectos Conceituais**. Revista Universidade Guarulhos - Geociências, II (6): 92 -98, dezembro de 1997.

- COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **06.010.** Construção de poços de monitoramento de aquífero freático. São Paulo, 1988, 37 p.
- CONCIANI, Wilson. **Surgimento de Voçorocas em Áreas de Solo Colapsível.** VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Presidente Prudente, SP, 1998.
- CORRÊA, G.F. **Modelo de evolução e mineralogia da fração argila do planalto de Viçosa-MG.** Viçosa, MG: UFV, 1984. 87p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1984.
- COZZOLINO, Vera M. N. e NOGAMI, Job S. **Classificação Geotécnica MCT para Solos Tropicais.** Solos e Rochas, São Paulo, 16, (2): 77 - 91, ago., 1993.
- DEFELIPO, B. V. & RIBEIRO, A. C. **Análise química do solo.** Viçosa, Imprensa Universitária. 17p. Boletim de Extensão, nº 29, 1981.
- DENARDIN, J. ELOIR. **Erodibilidade do solo estimada através de parâmetros físicos e químicos.** Piracicaba, 1990. 113 p.
- DNER. **Pesquisa de Estabilidade de Taludes: Recomendação Para Proteção de Taludes Contra Erosão.** Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1979.
- EMBRAPA/CNLC. SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DO SOLO. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** Rio de Janeiro, 1979.
- FÁCIO, José Augusto. **Proposição de uma Metodologia de Estudo da Erodibilidade dos solos do Distrito Federal.** Dissertação de Mestrado, UnB, Brasília – DF., 1991.
- FENDRICH, R. *et al.* **Drenagem e controle de erosão urbana.** Curitiba, EDUCAR, 1984.
- FRAGASSI, P. F. M., MAGALHÃES, E. P., MINETTE, E. **Estudo da erodibilidade dos solos e suas correlações com parâmetros geotécnicos.** VII Simpósio de Iniciação Científica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 1997.
- FREIRE, Octavio, PEREIRA, Vicente de Paula, CARVALHO, Wolmar Aparecida, TOMMASELLI, José T. G., GODOY, Manoel C.F.T. e TEIXEIRA, Sílvio Rainho. **Erodibilidade de Alguns Solos do Oeste do Estado de**
- HEAD, K.H. **Manual of soil laboratory testing.** New York: Pentech Press, 1982. v.2. 747p.
- INDERBITZEN, A. L.. **Na Erosion Tests For Soils.** Material Reseach & Standarts, I (7): 553-554, 1961.

- LEINZ, Viktor & AMARAL, Sérgio E. do. **Geologia Geral**. 7 ed. - São Paulo: Ed. Nacional. 397 p., 1978.
- LIMA, D.C., BUENO, B.S. **Estabilização dos Solos I – Os solos**. Viçosa, MG: UFV, 1993. 38p. (Publicação, 337).
- MARCHETTI, S. **A new in situ test for the measurement of horizontal soil deformability**. In: ASCE SPECIALTY CONFERENCE ON IN SITU MEASUREMENT OF SOIL PROPERTIES, 1975, Raleigh. Proceedings... [Raleigh: ASCE, 1975]. V. 2 P. 255-259.,
- MARCHETTI, S. **In situ test by flat dilatometer**. Journal of the Geotechnical Engineering Division, v. 106, n. GT3, p. 299-321, 1980.
- MINISTÉRIO DE OBRAS PÚBLICAS E TRANSPORTES DA ESPANHA - MOPT. **Guia para a elaboração de estudos do meio físico**. Madrid, Espanha, 1992.
- NASCIMENTO, U. e CASTRO, E. **Preventive Measures Against Slope Erosion. Criteria for Soil Selection**. Memória no. 451, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, POR, 19 p., 1974.
- OLIVEIRA, JOÃO B., JACOMINE P.K.T., CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 211p.
- PAULA, M. C. **Ensaio dilatométrico em um solo residual de gnaiss**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 176 p. Dissertação de Mestrado em Geotecnia – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- PRANDINI, F. L. & IWASA, O. Y. **Diagnóstico da origem e evolução de voçorocas**. São Paulo, IPT, 1980. 29 p.
- QUINTEIRO, F.Q.L. **Levantamento do uso da terra e caracterização de ambientes da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo com a utilização de aerofotos não-convencionais**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 91p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- RAMALHO, G.G.C. **Mapeamento geotécnico de Viçosa com o uso de sistema de informações geográficas**. Viçosa, MG: UFV, 1994, 110p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- SANTOS, Roberto Márcio Macedo dos. **Caracterização Geotécnica e Análise do Processo Evolutivo das Erosões no Município de Goiânia**. Dissertação de Mestrado, UnB, Brasília, DF, 120 p., 1997.
- VARGAS, Milton. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo, Mcgraw-Hill do Brasil, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1977.

VEIGA, Milton da. **Erodibilidade em Entressulcos e Algumas Propriedades Físicas, Químicas e Mineralógicas de Solos do Rio Grande do Sul, em Laboratório**. Dissertação de Mestrado, UFRG, Porto Alegre, 116 p., 1988.

APÊNDICE

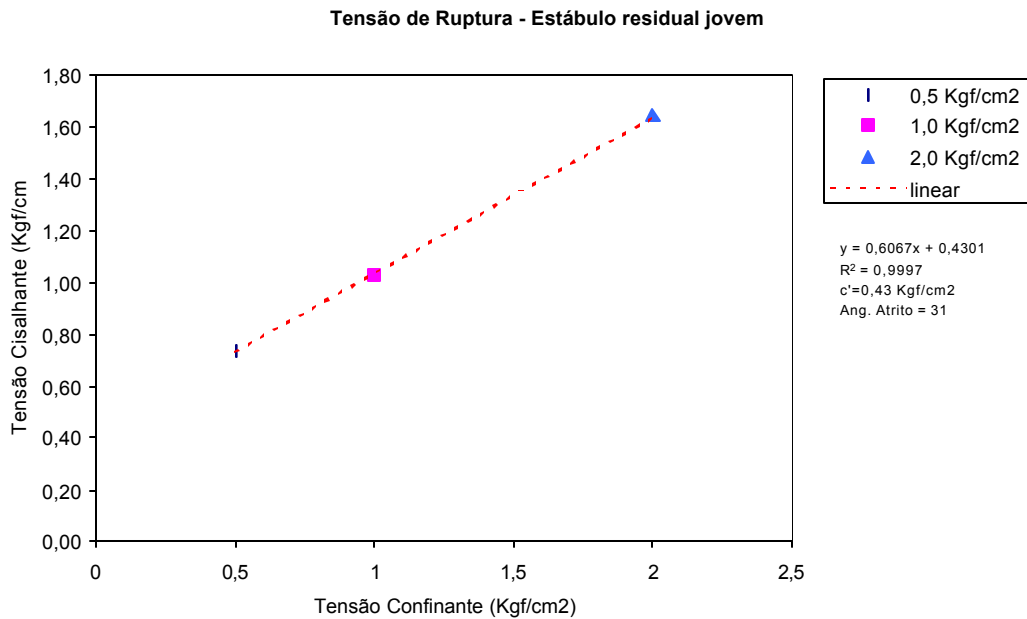


Figura 1A – Cisalhamento Direto, envoltória de tensões para o solo do Estábulo residual jovem em estado natural de umidade

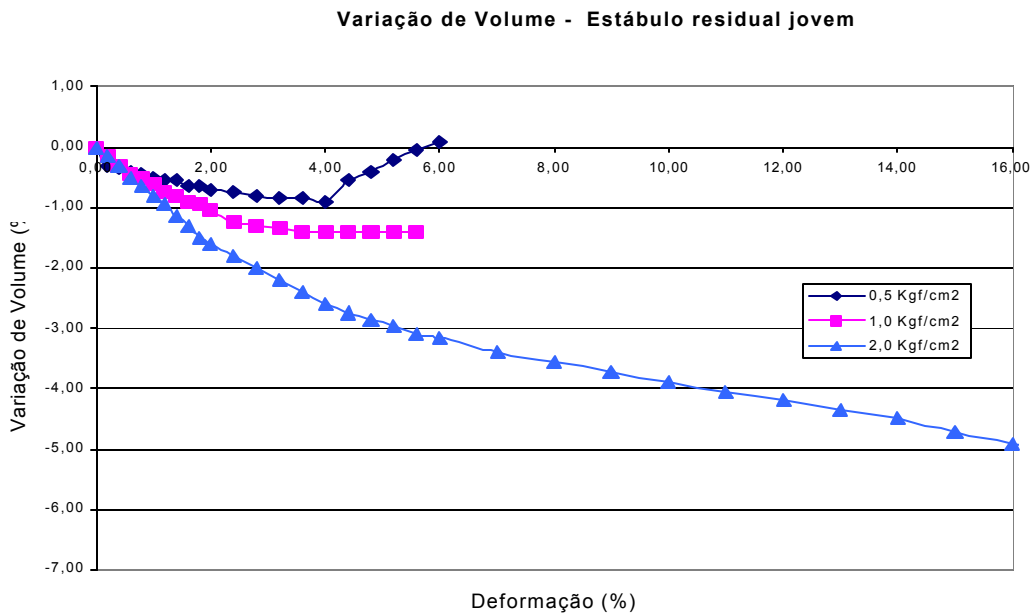


Figura 2A – Cisalhamento Direto, variação do volume para o solo do Estábulo residual jovem em estado natural de umidade

Varição da Tensão de Cisalhamento - Estábulo residual jovem

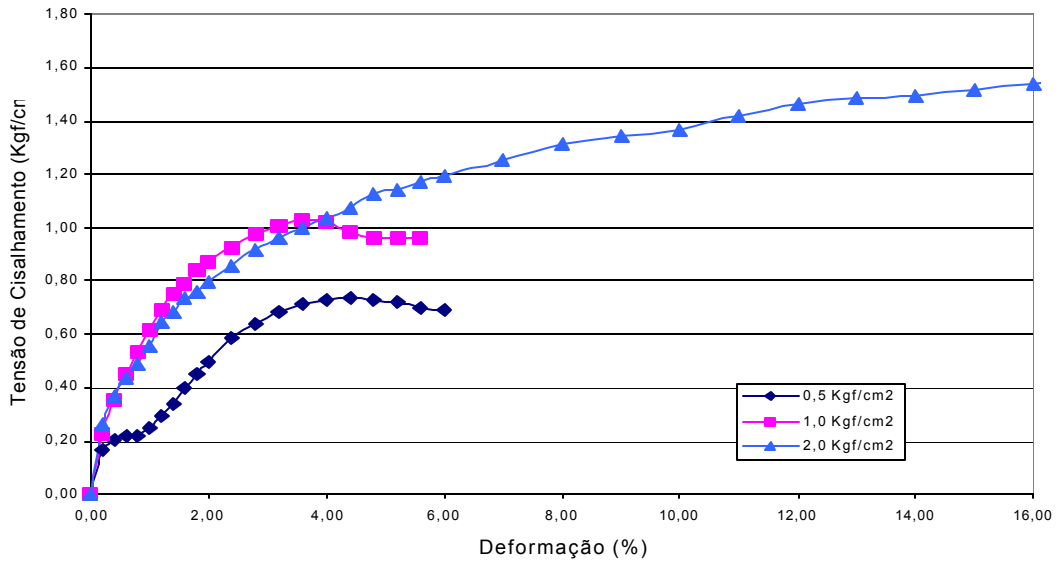


Figura 3A – Cisalhamento Direto, tensões cisalhantes para o solo do Estábulo residual jovem em estado natural de umidade

Tensão de Ruptura - Estábulo residual jovem inundado

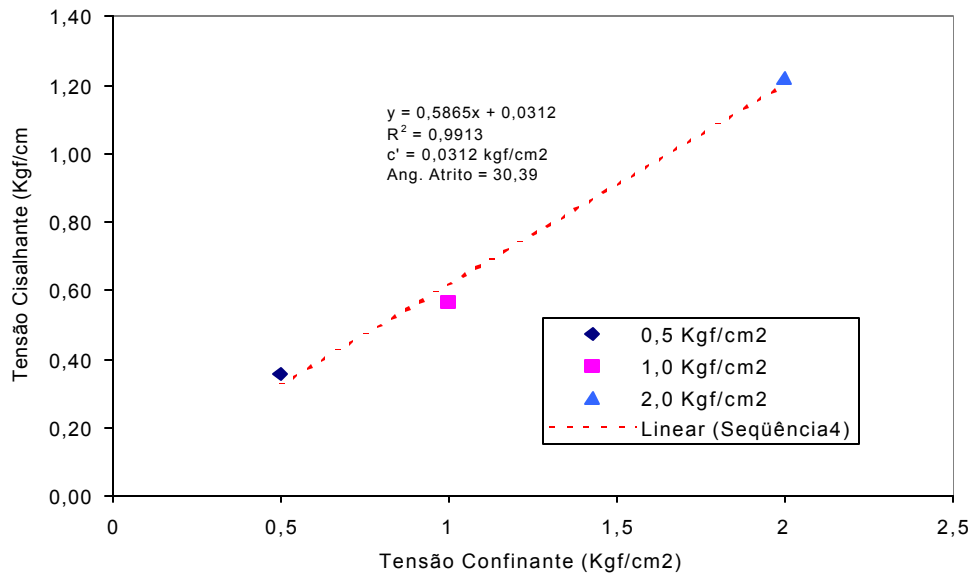


Figura 4A – Cisalhamento Direto, envoltória de tensões para o solo do Estábulo residual jovem em amostras submersas

Variação de Volume - Estábulo residual jovem inundado

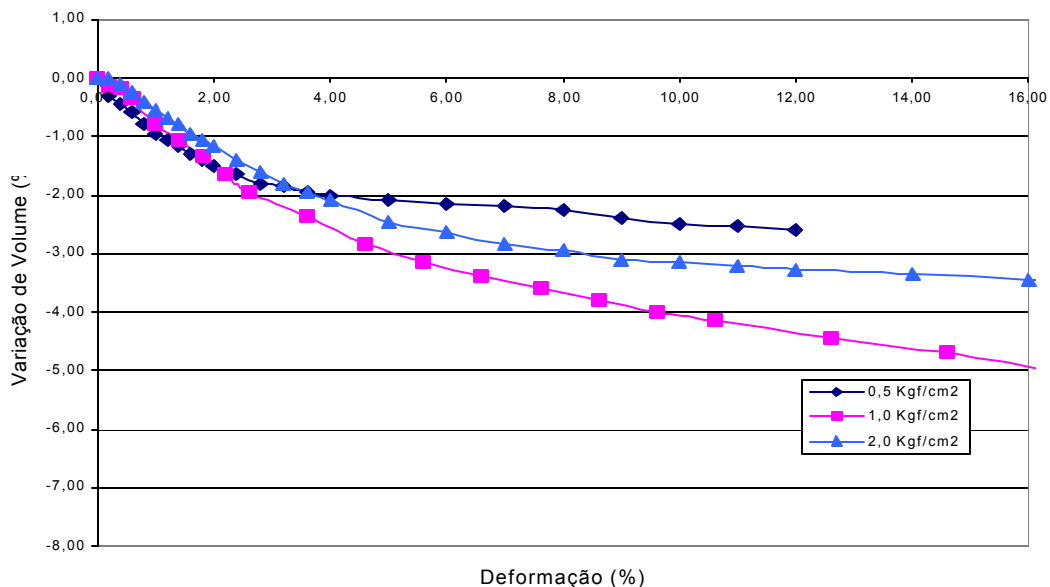


Figura 5A – Cisalhamento Direto, variação do volume para o solo do Estábulo residual jovem em amostras submersas

Variação da Tensão de Cisalhamento - Estábulo residual jovem inundado

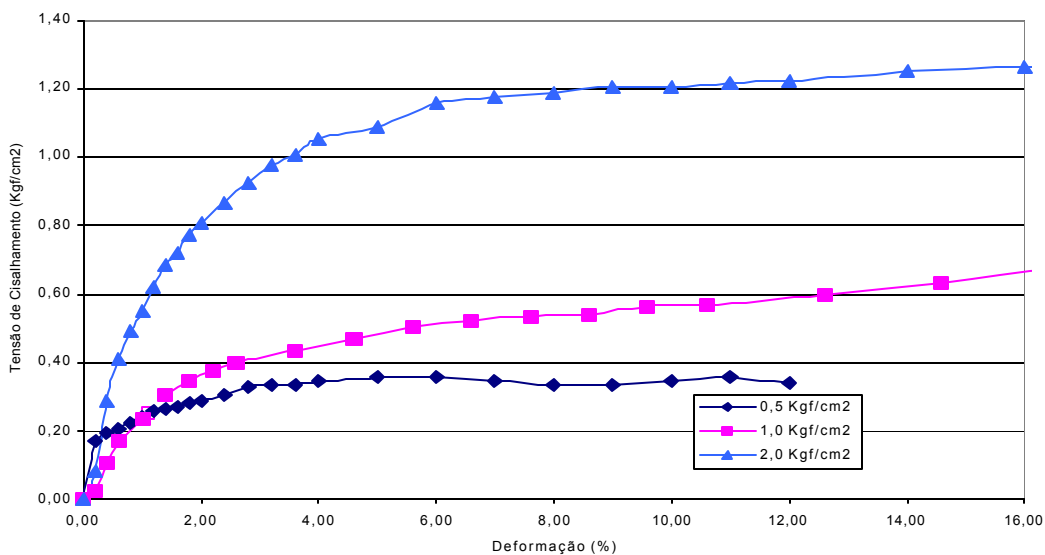


Figura 6A – Cisalhamento Direto, tensões cisalhantes para o solo do Estábulo residual jovem em amostras submersas

Tensão de Ruptura - Estábulo residual maduro

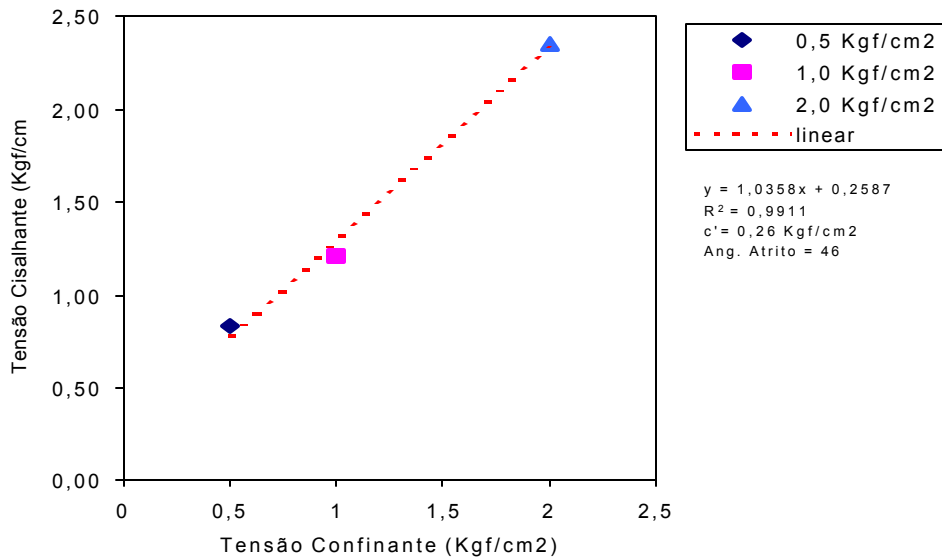


Figura 7A – Cisalhamento Direto, envoltória de tensões para o solo do Estábulo residual maduro em estado natural de umidade

Variação da Tensão de Cisalhamento - Estábulo residual maduro

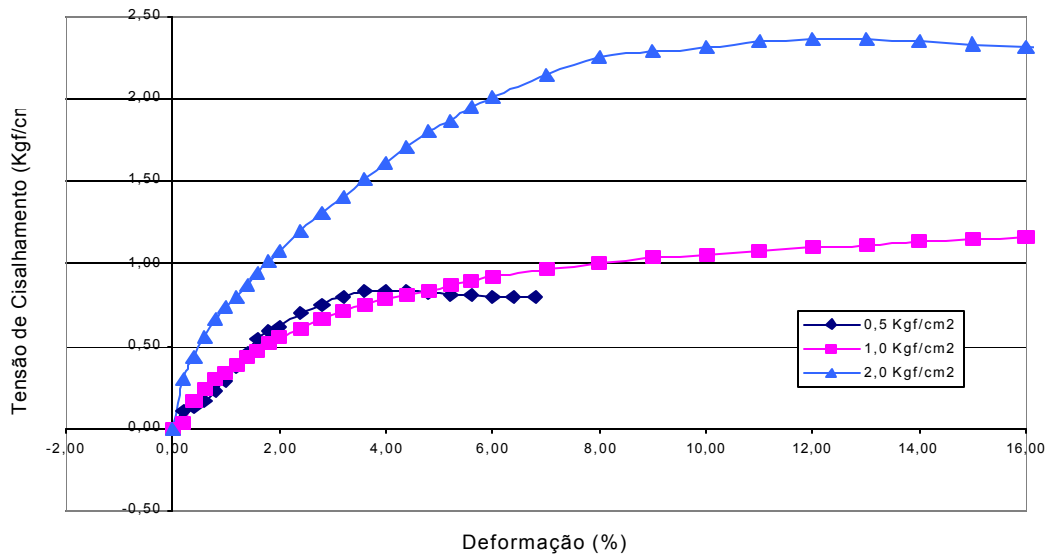


Figura 8A – Cisalhamento Direto, tensões cisalhantes para o solo do Estábulo residual maduro em estado natural de umidade

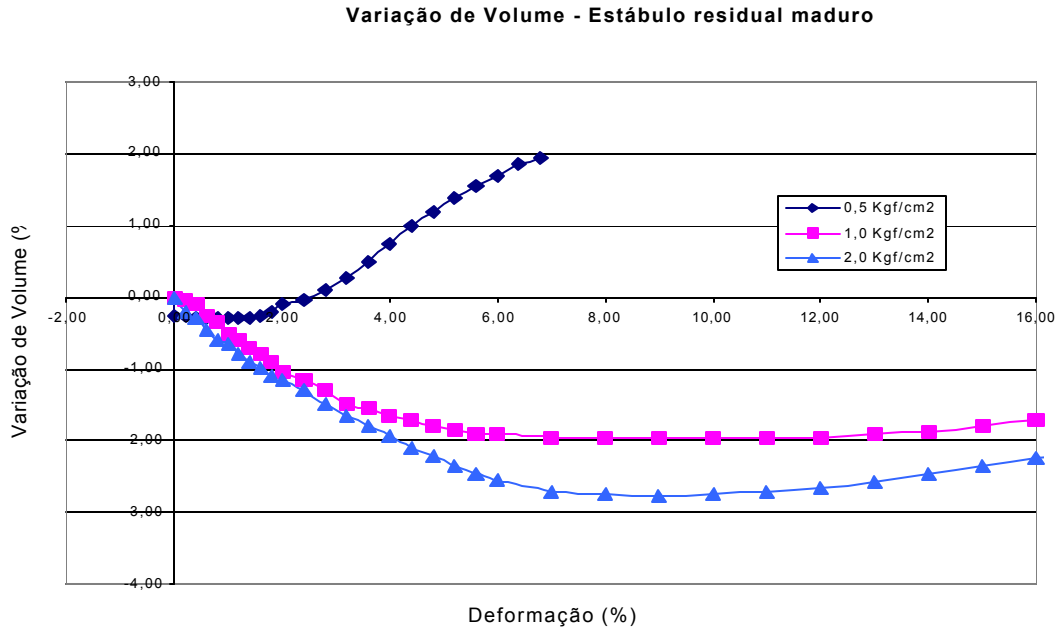


Figura 9A – Cisalhamento Direto, variação do volume para o solo do Estábulo residual maduro em estado natural de umidade

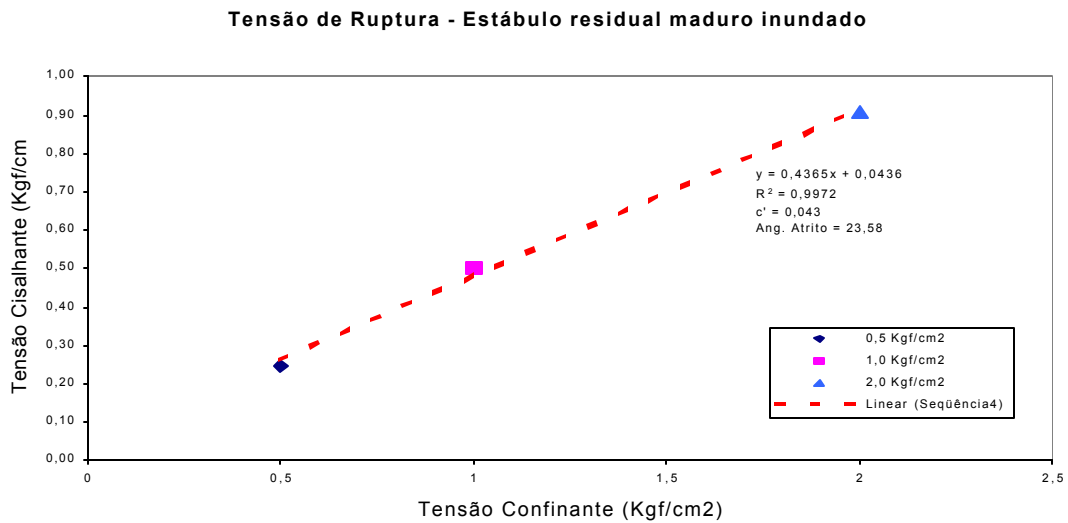


Figura 10A – Cisalhamento Direto, envoltória de tensões para o solo do Estábulo residual maduro em amostras submersas

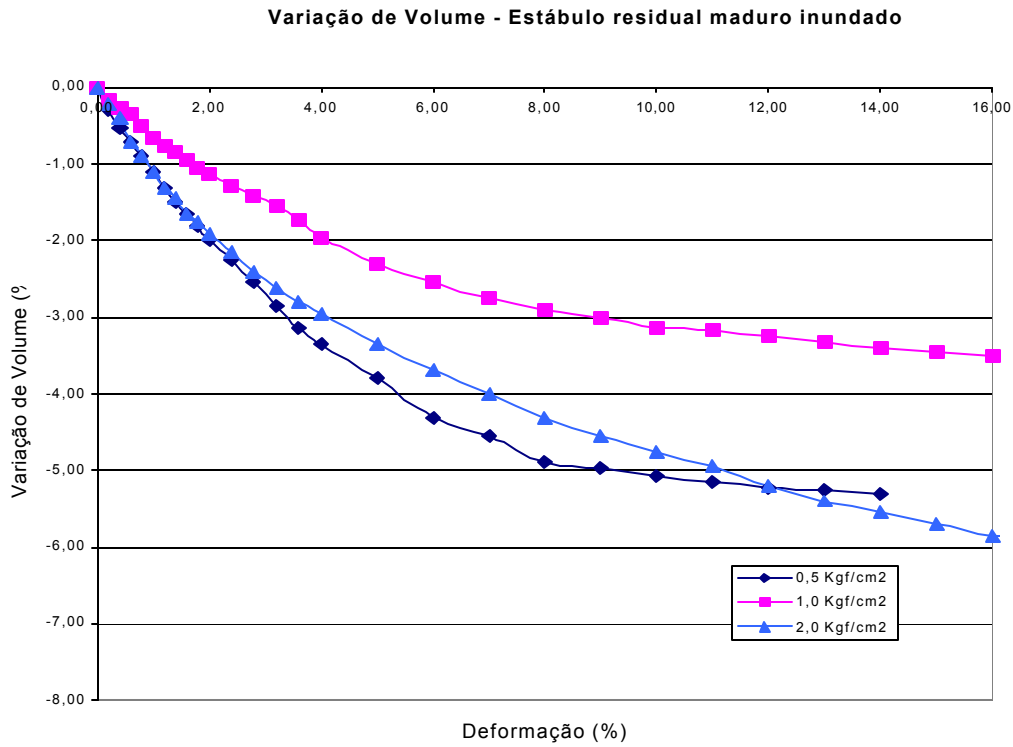


Figura 11A – Cisalhamento Direto, variação do volume para o solo do Estábulo residual maduro em amostras submersas

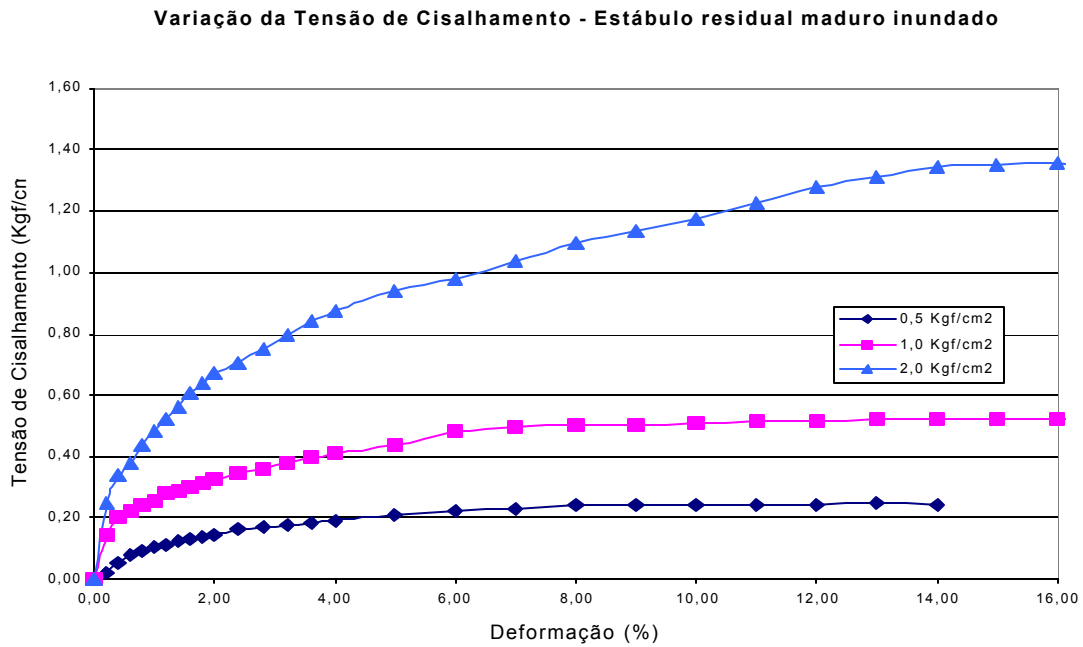


Figura 12A – Cisalhamento Direto, tensões cisalhantes para o solo do Estábulo residual maduro em amostras submersas

Tensão de Ruptura - S. S. Geraldo residual jovem

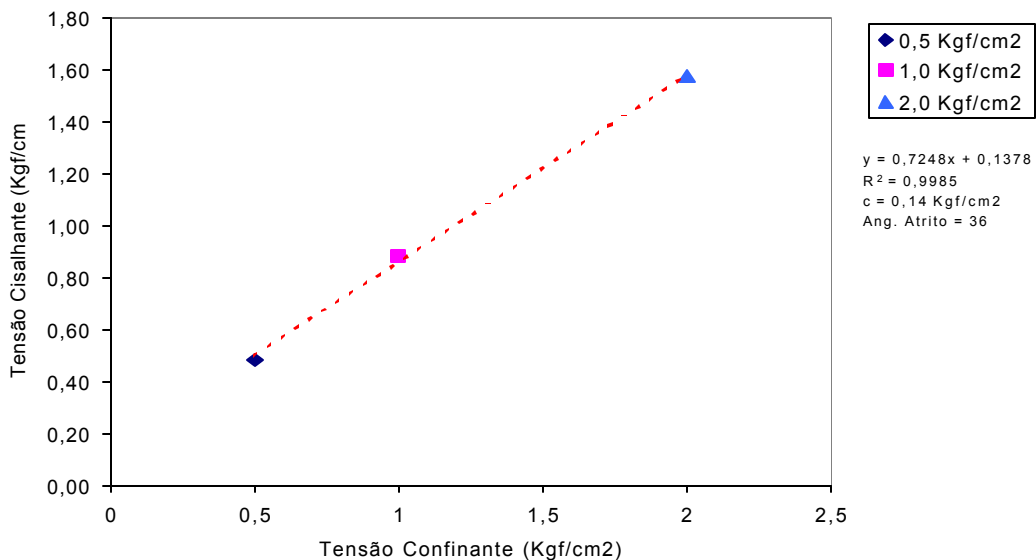


Figura 13A – Cisalhamento Direto, envoltória de tensões para o solo da Serra de São Geraldo residual jovem em estado natural de umidade

Variação de Volume - S. S. Geraldo residual jovem

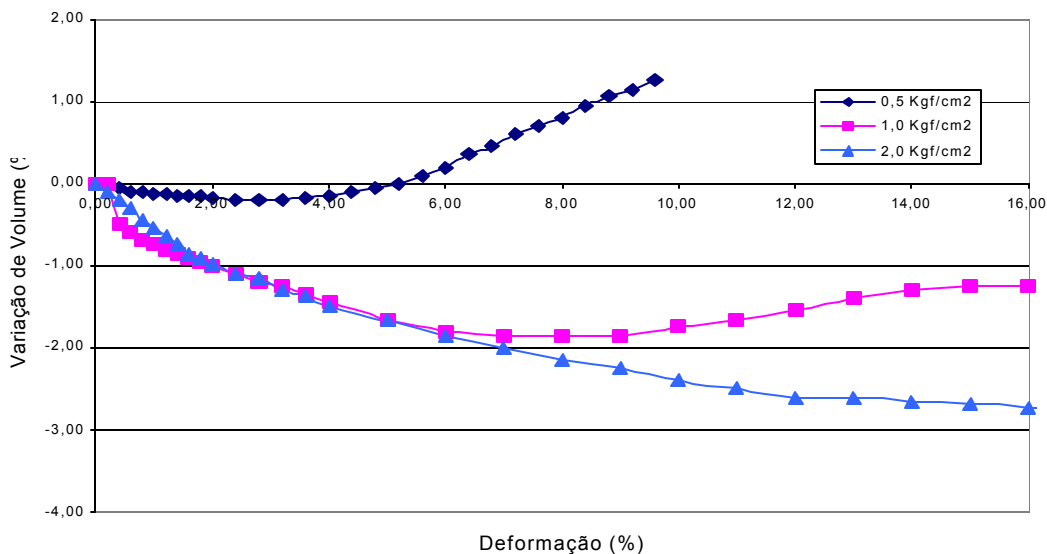


Figura 14A – Cisalhamento Direto, variação do volume para o solo da Serra de São Geraldo residual jovem em estado natural de umidade

Varição da Tensão de Cisalhamento - S. S. Geraldo residual jovem

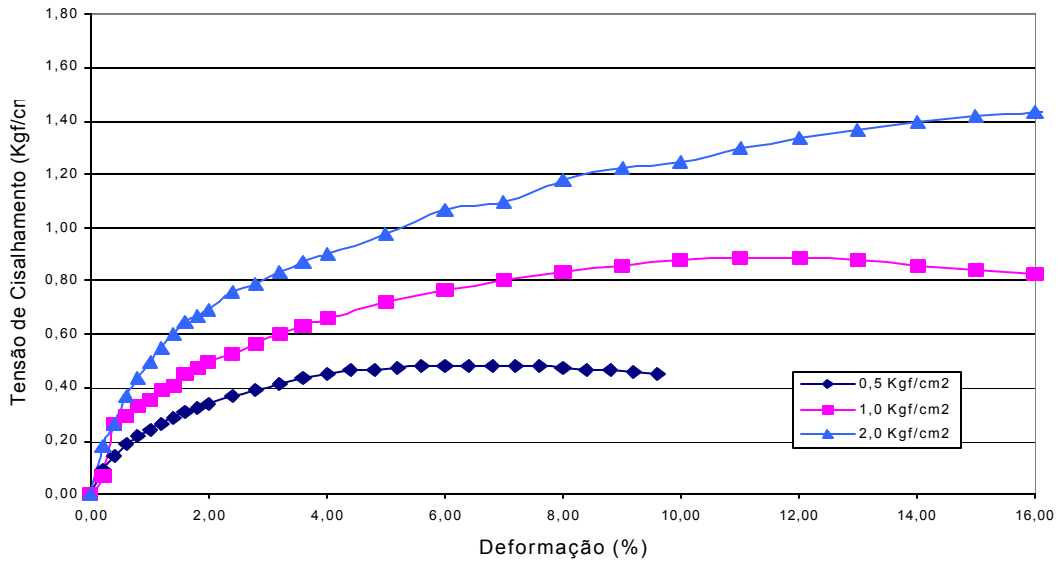


Figura 15A – Cisalhamento Direto, tensões cisalhantes para o solo da Serra de São Geraldo residual jovem em estado natural de umidade

Tensão de Ruptura -S. S. Geraldo residual maduro

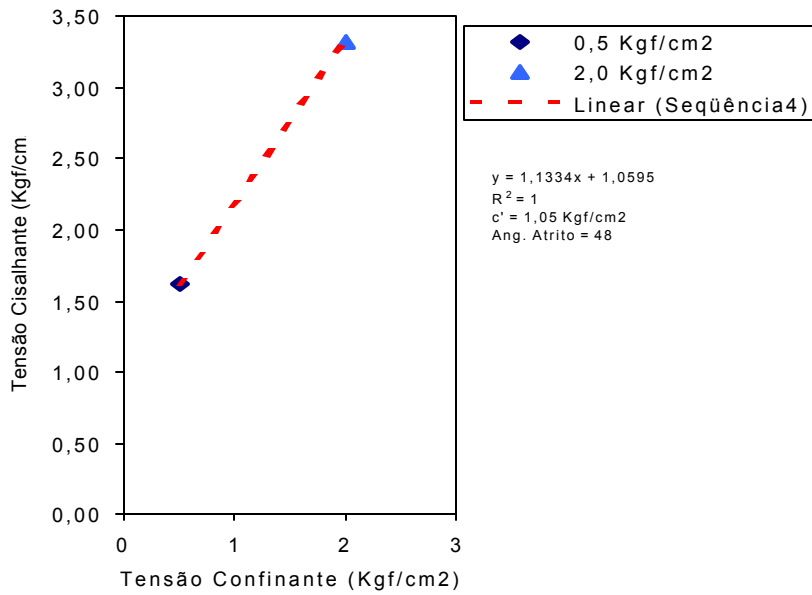


Figura 16A – Cisalhamento Direto, envoltória de tensões para o solo da Serra de São Geraldo residual maduro em estado natural de umidade

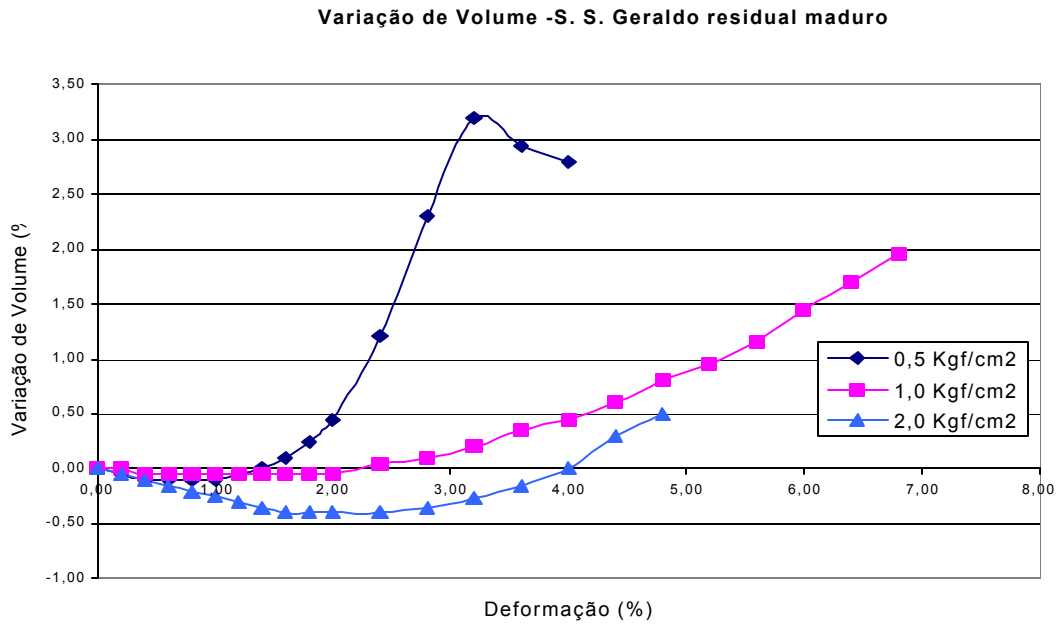


Figura 17A – Cisalhamento Direto, variação do volume para o solo da Serra de São Geraldo residual maduro em estado natural de umidade

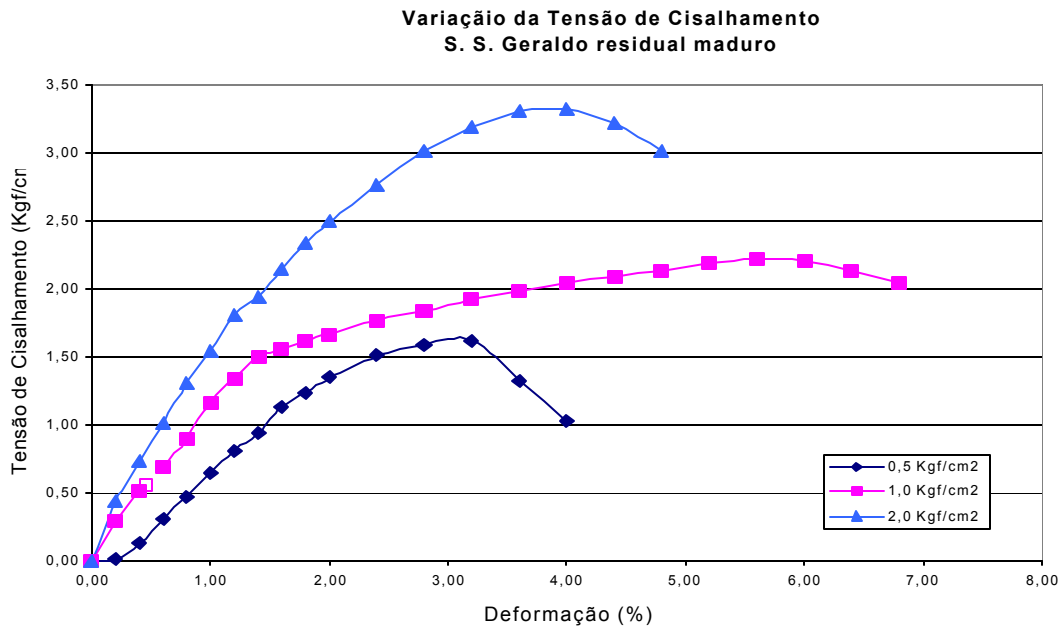


Figura 18A – Cisalhamento Direto, tensões cisalhantes para o solo da Serra de São Geraldo residual maduro em estado natural de umidade

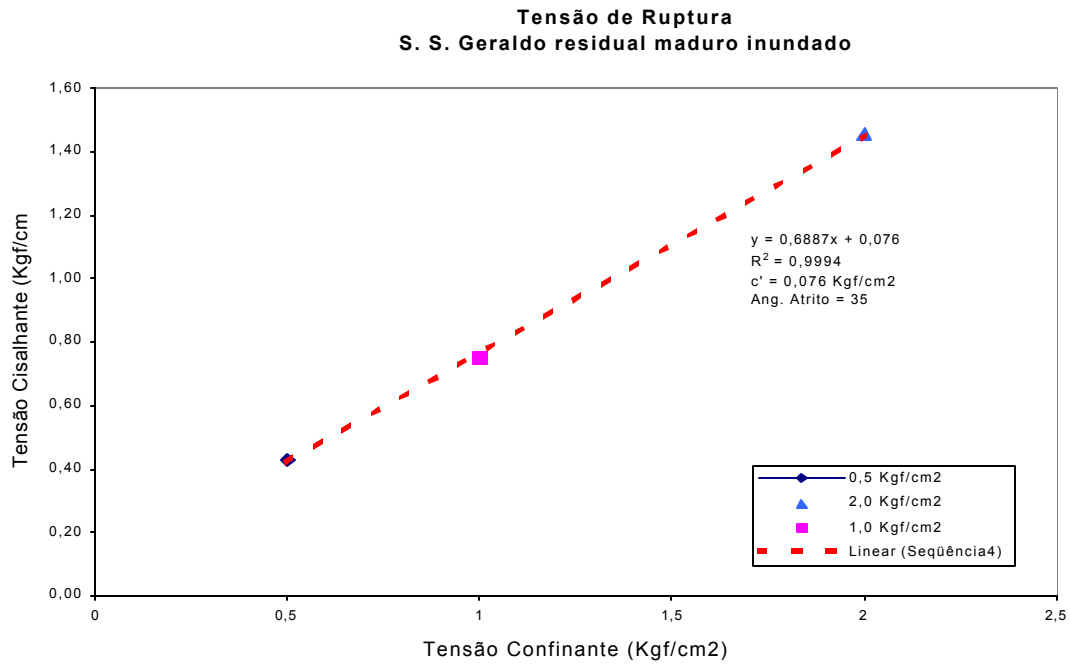


Figura 19A – Cisalhamento Direto, envoltória de tensões para o solo da Serra de São Geraldo residual maduro em amostras submersas

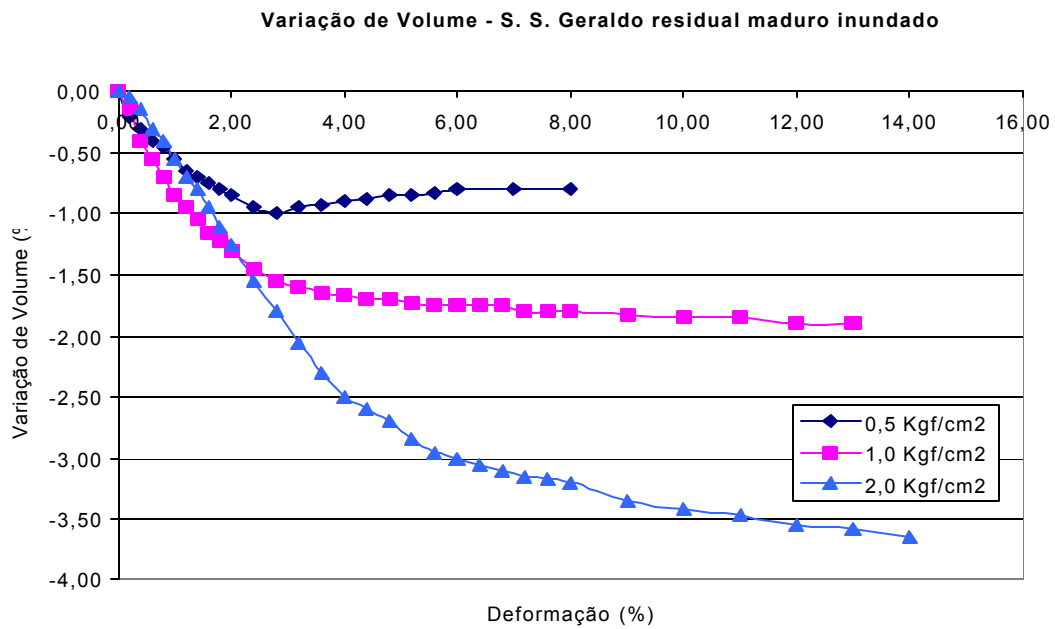


Figura 20A – Cisalhamento Direto, variação do volume para o solo da Serra de São Geraldo residual maduro em amostras submersas

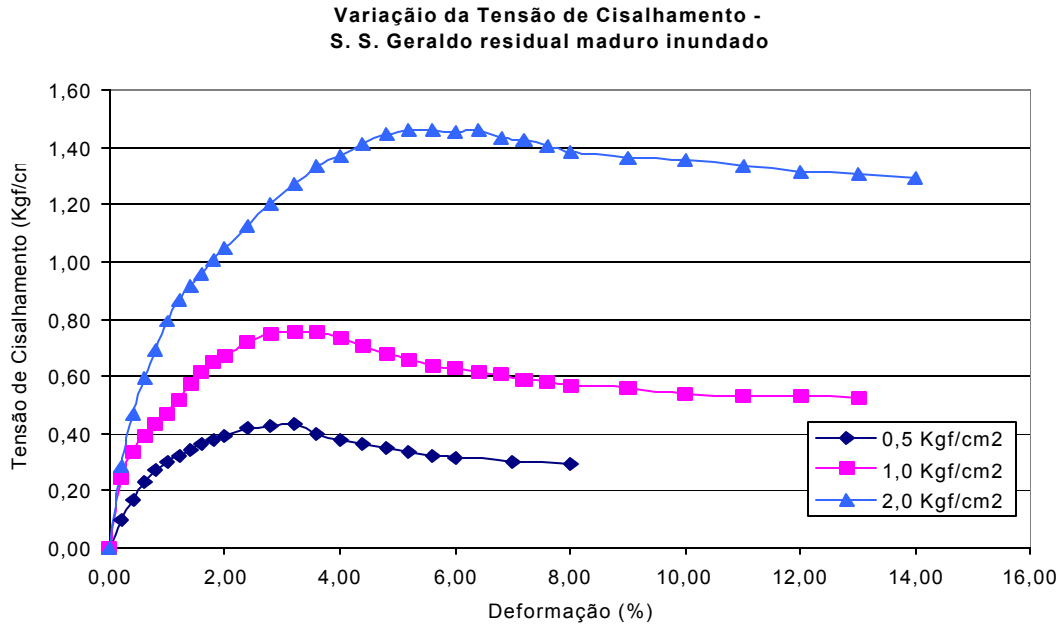


Figura 21A – Cisalhamento Direto, tensões cisalhantes para o solo da Serra de São Geraldo residual maduro em amostras submersas.

Universidade Federal de Viçosa Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Mecânica dos solos				SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO (SPT) NBR 6484/80 - NBR 7250/82							
REVESTIMENTO..... $\varnothing = 2\ 1/2"$ AMOSTRADOR..... $\varnothing_{ext} = 2"$ PESO.....65 kg ALTURA DE QUEDA.....75 cm				SONDAGEM Nº: 01 FURONº: 02 COTA (m):							
CLIENTE : PLÍNIO FRAGASSI OBRA : MESTRADO LOCAL : SERRA DE SÃO GERALDO, MG DATA INÍCIO: 11/06/99 DATA FINAL: 11/06/99				PROFUNDIDADE DO NÍVEL DE ÁGUA (m) INICIAL: ALSENTE FINAL: em PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO (m): 1,00m PROFUNDIDADE TOTAL (m) : 13,45m							
A	A	G	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO CONVENÇÕES	COTA S P/ BOCA DO FURO	N.A (m)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO					
V	M	O				N (SPT)					
N	S	P				10	20	30			
TC	1R	22	ARGILA ARENOSA VERMELHA	145							
TC	2R	18	ARGILA ARENOSA MICÁCEA VERMELHA	245							
TC	3R	8	SILTE ARENOSO MICÁCEO VERMELHO	345							
TC	4R	6	AREIA MICÁCEA FINA SILTOSA VERMELHA	445							
TC	5R	13	AREIA FINA MICÁCEA COR VG (PR ETA)	545							
TC	6R	14		645							
TC	7R	24	AREIA FINA MICÁCEA AMARELA	745							
TC	8R	19	SILTE POUCO ARENOSO COR VARIEGADA	845							
TC	9R	14	SILTE ARENOSO MICÁCEO COR VG	945							
TC	10R	23		1045							
TC	11R	14	AREIA FINA MICÁCEA COR VARIEGADA	1145							
TC	12R	15		1245							
TC	13R	23	ALTERAÇÃO DE ROCHA +MICA, COR VG	1345							
NOTAS: 1) TN = TRADO CONCHA TH = TRADO NELICOIDAL 2) CA = CIRCULAÇÃO DE ÁGUA 3) R = AMOSTRA RECUPERADA 4) L = AMOSTRA RECUPERADA POR LAVAGEM DESENHO: PLÍNIO FRAGASSI DATA:				OBS.:							
				RESPONSÁVEL: CREA:							

Quadro 1A – Relatório de sondagem SPT, localizado na Serra de São Geraldo no lado de baixo da rodovia.

Universidade Federal de Viçosa Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Mecânica dos solos				SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO (SPT) NBR 6484/80 - NBR 7250/82				
REVESTIMENTO..... $\varnothing = 2\ 1/2"$ AMOSTRADOR..... $\varnothing_{ext} = 2"$ PESO.....65 kg ALTURA DE QUEDA.....75 cm				SONDAGEM Nº: 01 FURONº: 01 COTA (m):				
CLIENTE : PLINIO FRAGASSI OBRA : MESTRADO LOCAL : SERRA DE SÃO GERALDO, MG DATA INÍCIO: 08/06/99 DATA FINAL: 08/06/99				PROFUNDIDADE DO NÍVEL DE ÁGUA (m) INICIAL: 8,25m em 09/06/99 FINAL: em PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO (m): PROFUNDIDADE TOTAL (m) : 10,25 m				
A V Ç O	A M O S T R A	G O L P E S	CLASSIFICAÇÃO DO SLO CONVENÇÕES	COTA S P/ BOC A DO FURO	N.A (m)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO N (SPT)		
						10	20	30
TC	1R	15	ARGILA ARENOSA AMARELA/MARROM	1,45	8,2			
TC	2R	9	SILTE ARGILO ARENOSO AMARELO	2,45				
TC	3R	11	SILTE ARENOSO AMARELO	3,45				
TC	4R	7	AREIA FINA POUCO SILTOSA	4,45				
TC	5R	10	COR BRANCA	5,45				
TC	6R	16	VEIO DE AREIA SILTOSA MARROM*	6,45				
TC	7R	19	AREIA FINA POUCO SILTOSA COR VG	7,45				
TC	8R	9	AREIA FINA POUCO MICÁCEA, VG (PRETO)	8,45				
TC	9R	30	ALTERAÇÃO DE ROCHA**	9,25				
TC	10R	33	ALTERAÇÃO DE ROCHA	10,25				
NOTAS: 1) TN = TRADO CONCHA TH = TRADO NELICOIDAL 2) CA = CIRCULAÇÃO DE ÁGUA 3) R = AMOSTRA RECUPERADA 4) L = AMOSTRA RECUPERADA POR LAVAGEM DESENHO: PLINIO FRAGASSI DATA:				OBS: * = 10 cm, PROVÁVEL LIMHA DE RUPTURA ** EM 8,80m O TRADO NÃO AVANÇOU. USOU-SE O MOSTRADOR. RESPONSÁVEL: CREA:				

Quadro 2A – Relatório de sondagem SPT, localizado na Serra de São Geraldo no lado de cima da rodovia.

MESTRADO EM GEOTECNIA
LADO BAIXO DA RODOVIA

SERRA DE SAO GERALDO
ENSAIO DE CAMPO

WATERTABLE m 17.8

Reduction formulae according to Marchetti, ASCE Geot.Jnl.,Mar. 1980, Vol.109, 299-321

NOTE : OCR = 'relative OCR'. OCR below often reasonable. Accuracy can be improved if precise
OCR values are available. Then factorize all OCR below by the ratio OCRreference/OCR

Z (m)	Po	Pl	Gamma	Sigma'	U	Id	Kd	Ed	Ko	Ocr	q	M	Cu	DESCRIPTION
0.20	1.0	4.1	1.80	0.03	0.00	2.94	33.3	106				387		SILTY SAND
0.40	3.8	14.2	1.90	0.07	0.00	2.68	57.7	358				1488		SILTY SAND
0.60	3.9	13.2	1.90	0.10	0.00	2.38	37.5	321				1206		SILTY SAND
0.80	3.0	9.4	1.90	0.14	0.00	2.08	21.5	219				707		SILTY SAND
1.00	2.4	9.1	1.90	0.18	0.00	2.74	13.6	230				642		SILTY SAND
1.20	2.6	9.2	1.90	0.22	0.00	2.48	12.2	227				609		SILTY SAND
1.40	1.0	3.1	1.70	0.25	0.00	1.99	4.1	72				120		SILTY SAND
1.60	2.4	8.4	1.90	0.29	0.00	2.55	8.2	208				484		SILTY SAND
1.80	2.6	7.4	1.90	0.32	0.00	1.87	7.9	167				380		SILTY SAND
2.00	2.0	5.6	1.70	0.36	0.00	1.75	5.6	123				239		SANDY SILT
2.20	2.2	6.3	1.80	0.39	0.00	1.81	5.7	141				277		SILTY SAND
2.40	2.6	7.6	1.90	0.43	0.00	1.90	6.1	172				349		SILTY SAND
2.60	3.4	9.7	1.90	0.47	0.00	1.85	7.3	218				478		SILTY SAND
2.80	3.6	9.4	1.80	0.50	0.00	1.59	7.2	199				435		SANDY SILT
3.00	2.4	6.7	1.90	0.54	0.00	1.81	4.4	150				259		SILTY SAND
3.20	2.8	7.2	1.80	0.58	0.00	1.57	4.8	152				273		SANDY SILT
3.40	3.3	8.5	1.80	0.61	0.00	1.53	5.5	177				340		SANDY SILT
3.60	2.6	7.8	1.90	0.65	0.00	2.01	4.0	181				298		SILTY SAND
3.80	2.9	7.5	1.80	0.68	0.00	1.57	4.3	159				268		SANDY SILT
4.00	3.6	9.5	1.80	0.72	0.00	1.62	5.0	203				373		SANDY SILT
4.20	4.1	9.7	1.80	0.76	0.00	1.37	5.4	194				368		SANDY SILT
4.40	3.0	7.5	1.80	0.79	0.00	1.53	3.8	157				245		SANDY SILT
4.60	3.4	8.2	1.80	0.83	0.00	1.44	4.1	168				274		SANDY SILT
4.80	2.2	6.4	1.80	0.86	0.00	1.93	2.5	146				178		SILTY SAND
5.00	2.0	6.4	1.80	0.90	0.00	2.16	2.3	152				171		SILTY SAND
5.20	3.9	9.1	1.80	0.93	0.00	1.31	4.2	179				297		SANDY SILT
5.40	4.3	10.0	1.80	0.97	0.00	1.30	4.5	196				335		SANDY SILT
5.60	3.8	7.5	1.80	1.00	0.00	0.97	3.8	128	0.95	2.7	1.7	197	0.49	SILT
5.80	2.7	7.9	1.90	1.04	0.00	1.88	2.6	179				224		SILTY SAND
6.00	3.8	8.3	1.80	1.08	0.00	1.16	3.6	154	0.90	2.5	1.6	227	0.49	SILT
6.20	1.2	2.0	1.60	1.11	0.00	0.70	1.0	28	<0.3	<0.8	<0.0	24	0.11	CLAYEY SILT
6.40	1.1	1.8	1.60	1.14	0.00	0.67	0.9	24	<0.3	<0.8	<0.0	21	0.10	CLAYEY SILT
6.60	1.4	5.0	1.80	1.17	0.00	2.49	1.2	123				104		SILTY SAND
6.80	2.4	6.4	1.70	1.21	0.00	1.65	2.0	137				131		SANDY SILT
7.00	2.8	7.2	1.80	1.24	0.00	1.53	2.3	150				161		SANDY SILT
7.20	3.0	7.6	1.80	1.28	0.00	1.54	2.3	159				174		SANDY SILT
7.40	3.3	8.0	1.80	1.31	0.00	1.40	2.5	161				187		SANDY SILT
7.60	3.1	7.6	1.80	1.35	0.00	1.43	2.3	156				168		SANDY SILT
7.80	3.1	7.4	1.80	1.38	0.00	1.34	2.3	146				154		SANDY SILT
8.00	2.6	6.5	1.80	1.42	0.00	1.48	1.8	134				115		SANDY SILT
8.20	2.2	6.6	1.80	1.45	0.00	1.94	1.5	150				128		SILTY SAND
8.40	2.4	6.5	1.70	1.49	0.00	1.70	1.6	141				120		SANDY SILT
8.60	2.7	7.2	1.80	1.52	0.00	1.64	1.8	156				133		SANDY SILT
8.80	2.0	5.7	1.80	1.56	0.00	1.91	1.3	130				111		SILTY SAND
9.00	1.2	3.9	1.80	1.59	0.00	2.23	0.8	94				80		SILTY SAND
9.20	3.2	7.8	1.80	1.63	0.00	1.41	2.0	157				146		SANDY SILT
9.40	3.5	9.1	1.80	1.66	0.00	1.61	2.1	194				193		SANDY SILT
9.60	3.8	9.8	1.80	1.70	0.00	1.60	2.2	208				219		SANDY SILT
9.80	3.6	10.0	1.80	1.73	0.00	1.74	2.1	219				223		SANDY SILT

Quadro 4A – Relatório de sondagem DMT do ensaio 1, localizado no lado de baixo da rodovia.

MESTRADO EM GEOTECNIA				SERRA DE SAO GERALDO					ENSAIO 1				Pag 2	
Z (m)	Po	P1	Gamma	Sigma'	U	Id	Kd	Ed	Ko	Ocr	q	M	Cu	DESCRIPTION
10.00	4.8	12.7	1.95	1.77	0.00	1.63	2.7	272				341		SANDY SILT
10.20	3.0	8.3	1.80	1.81	0.00	1.76	1.7	183				155		SANDY SILT
10.40	3.1	7.7	1.80	1.84	0.00	1.45	1.7	157				134		SANDY SILT
10.60	3.0	10.1	1.90	1.88	0.00	2.35	1.6	245				208		SILTY SAND
10.80	2.4	6.2	1.70	1.92	0.00	1.55	1.3	130				111		SANDY SILT
11.00	2.3	7.2	1.90	1.95	0.00	2.10	1.2	168				143		SILTY SAND
11.20	3.1	9.4	1.90	1.99	0.00	2.00	1.6	218				185		SILTY SAND
11.40	4.4	11.2	1.80	2.02	0.00	1.56	2.2	236				241		SANDY SILT
11.60	5.4	12.7	1.95	2.06	0.00	1.35	2.6	252				301		SANDY SILT
11.80	1.9	5.6	1.80	2.10	0.00	1.98	0.9	128				109		SILTY SAND
12.00	3.3	8.6	1.80	2.13	0.00	1.56	1.6	181				154		SANDY SILT
12.20	3.4	8.4	1.80	2.17	0.00	1.46	1.6	172				146		SANDY SILT
12.40	3.5	8.1	1.80	2.20	0.00	1.30	1.6	159				135		SANDY SILT
12.60	3.2	8.8	1.80	2.24	0.00	1.72	1.4	192				163		SANDY SILT
12.80	4.7	12.7	1.95	2.27	0.00	1.72	2.0	278				275		SANDY SILT
13.00	5.5	15.7	2.00	2.31	0.00	1.87	2.4	354				403		SILTY SAND
13.20	5.0	13.6	1.95	2.35	0.00	1.69	2.1	296				305		SANDY SILT
13.40	4.3	12.2	1.90	2.39	0.00	1.85	1.8	274				239		SILTY SAND
13.60	3.5	9.7	1.80	2.43	0.00	1.72	1.5	212				180		SANDY SILT
13.80	3.9	11.7	1.90	2.46	0.00	2.01	1.6	270				230		SILTY SAND
14.00	5.3	15.2	2.00	2.50	0.00	1.88	2.1	343				355		SILTY SAND
14.20	3.3	7.9	1.80	2.54	0.00	1.36	1.3	157				134		SANDY SILT
14.40	4.2	11.2	1.80	2.57	0.00	1.68	1.6	243				207		SANDY SILT
14.60	5.3	14.7	1.95	2.61	0.00	1.77	2.0	325				321		SANDY SILT
14.80	4.6	12.2	1.80	2.65	0.00	1.66	1.7	263				224		SANDY SILT
15.00	6.2	16.7	1.95	2.68	0.00	1.67	2.3	361				400		SANDY SILT
15.20	5.7	16.7	2.00	2.72	0.00	1.91	2.1	380				393		SILTY SAND
15.40	4.3	12.2	1.90	2.76	0.00	1.85	1.5	274				233		SILTY SAND
15.60	4.3	13.2	1.90	2.80	0.00	2.08	1.5	309				262		SILTY SAND
15.80	5.2	15.7	2.00	2.84	0.00	2.02	1.8	363				333		SILTY SAND
16.00	3.0	8.9	1.90	2.87	0.00	1.99	1.0	205				174		SILTY SAND
16.20	5.2	15.2	2.00	2.91	0.00	1.91	1.8	345				305		SILTY SAND
16.40	4.1	13.7	1.90	2.95	0.00	2.34	1.4	332				282		SILTY SAND
16.60	4.7	15.4	2.00	2.99	0.00	2.24	1.6	369				313		SILTY SAND
16.80	4.9	15.4	2.00	3.03	0.00	2.11	1.6	361				307		SILTY SAND
17.00	5.1	19.7	2.00	3.07	0.00	2.82	1.7	504				468		SILTY SAND
17.20	6.3	21.2	2.00	3.11	0.00	2.37	2.0	516				540		SILTY SAND
17.40	7.2	22.7	2.00	3.15	0.00	2.17	2.3	538				610		SILTY SAND
17.60	8.4	24.2	2.00	3.18	0.00	1.88	2.6	547				681		SILTY SAND
17.80	7.0	18.7	1.95	3.22	0.00	1.67	2.2	405				421		SANDY SILT
18.00	3.9	12.2	1.90	3.24	0.02	2.09	1.2	285				242		SILTY SAND
18.20	8.0	20.7	1.95	3.26	0.04	1.59	2.4	440				503		SANDY SILT
18.40	8.2	27.7	2.15	3.28	0.06	2.38	2.5	675				834		SILTY SAND
18.60	6.6	20.7	2.00	3.30	0.08	2.15	2.0	487				489		SILTY SAND
Z (m)	Po	P1	Gamma	Sigma'	U	Id	Kd	Ed	Ko	Ocr	q	M	Cu	DESCRIPTION

Quadro 4A (continuação) – Relatório de sondagem DMT do ensaio 1, localizado no lado de baixo da rodovia.

MESTRADO EM GEOTECNIA
LADO BAIXO DA RODOVIA

SERRA DE SAO GERALDO
ENSAIO DE CAMPO

WATERTABLE m 14.6

Reduction formulae according to Marchetti, ASCE Geot. Jnl., Mar. 1980, Vol.109, 299-321

NOTE : OCR = 'relative OCR'. OCR below often reasonable. Accuracy can be improved if precise
OCR values are available. Then factorize all OCR below by the ratio OCRreference/OCR

Po	= Corrected A reading	bar	INTERPRETED GEOTECHNICAL PARAMETERS	
P1	= Corrected B reading	bar	-----	
Gamma	= Bulk unit weight/GammaH2O	(-)	Ko = In situ earth press. coeff.	(-)
Sigma'	= Effective overb. stress	bar	Ocr= Overconsolidation ratio	(-)
U	= Pore pressure	bar	q = Eroded overburden above g.s.	bar
Id	= Material Index	(-)	M = Constrained modulus (at Sigma')	bar
Kd	= Horizontal stress index	(-)	Cu = Undrained shear strength	bar
Ed	= Dilatometer modulus	bar		

Z (m)	Po	P1	Gamma	Sigma'	U	Id	Kd	Ed	Ko	Ocr	q	M	Cu	DESCRIPTION
0.20	5.9	20.2	2.00	0.03	0.00	2.41	99.9	495				2317		SILTY SAND
0.40	5.1	15.7	2.00	0.07	0.00	2.05	72.7	366				1602		SILTY SAND
0.60	6.0	15.7	1.95	0.11	0.00	1.60	54.9	335				1377		SANDY SILT
0.80	3.8	11.7	1.90	0.15	0.00	2.06	25.8	273				927		SILTY SAND
1.00	3.5	18.0	2.00	0.19	0.00	4.14	18.9	502				1558		SAND
1.20	7.6	26.7	2.00	0.22	0.00	2.52	33.7	663				2420		SILTY SAND
1.40	6.6	20.7	2.00	0.26	0.00	2.12	25.1	488				1645		SILTY SAND
1.60	6.2	19.2	2.00	0.30	0.00	2.08	20.5	450				1430		SILTY SAND
1.80	6.5	17.2	1.95	0.34	0.00	1.65	18.9	371				1152		SANDY SILT
2.00	5.6	16.7	2.00	0.38	0.00	2.00	14.6	386				1103		SILTY SAND
2.20	5.6	16.2	2.00	0.42	0.00	1.90	13.3	368				1018		SILTY SAND
2.40	5.4	15.2	2.00	0.46	0.00	1.83	11.7	340				901		SILTY SAND
2.60	4.2	12.7	1.90	0.50	0.00	1.99	8.5	293				688		SILTY SAND
2.80	4.3	11.7	1.80	0.54	0.00	1.69	8.1	255				586		SANDY SILT
3.00	3.9	10.7	1.80	0.57	0.00	1.76	6.8	236				504		SANDY SILT
3.20	3.0	9.4	1.90	0.61	0.00	2.09	5.0	220				409		SILTY SAND
3.40	3.2	8.1	1.80	0.64	0.00	1.56	4.9	171				310		SANDY SILT
3.60	2.4	6.2	1.70	0.68	0.00	1.64	3.5	134				200		SANDY SILT
3.80	2.5	6.0	1.70	0.71	0.00	1.39	3.5	122				181		SANDY SILT
4.00	2.5	6.1	1.70	0.75	0.00	1.46	3.3	125				179		SANDY SILT
4.20	2.0	4.2	1.70	0.78	0.00	1.05	2.6	74	0.70	1.5	0.4	87	0.24	SILT
4.40	1.9	5.6	1.80	0.81	0.00	2.00	2.3	129				145		SILTY SAND
4.60	2.2	5.5	1.70	0.85	0.00	1.54	2.6	116				138		SANDY SILT
4.80	2.0	6.1	1.80	0.88	0.00	2.05	2.3	142				158		SILTY SAND
5.00	2.7	7.6	1.90	0.92	0.00	1.85	2.9	171				228		SILTY SAND
5.20	2.3	6.6	1.80	0.95	0.00	1.88	2.4	149				172		SILTY SAND
5.40	1.9	3.6	1.70	0.99	0.00	0.93	1.9	60	0.51	0.91	<0.0	51	0.20	SILT
5.60	1.9	4.4	1.70	1.02	0.00	1.34	1.8	87				74		SANDY SILT
5.80	2.2	6.6	1.80	1.06	0.00	2.02	2.1	153				157		SILTY SAND
6.00	2.5	6.8	1.80	1.09	0.00	1.73	2.3	149				163		SANDY SILT
6.20	2.4	6.5	1.70	1.13	0.00	1.65	2.2	140				145		SANDY SILT
6.40	2.3	6.6	1.80	1.16	0.00	1.81	2.0	147				145		SILTY SAND
6.60	2.7	6.6	1.80	1.19	0.00	1.48	2.2	136				142		SANDY SILT
6.80	2.4	6.4	1.70	1.23	0.00	1.68	1.9	140				131		SANDY SILT
7.00	2.3	6.6	1.80	1.26	0.00	1.81	1.9	147				133		SILTY SAND
7.20	2.0	5.3	1.70	1.30	0.00	1.62	1.6	114				97		SANDY SILT
7.40	2.3	6.5	1.80	1.33	0.00	1.85	1.7	147				125		SILTY SAND
7.60	3.0	7.7	1.80	1.37	0.00	1.59	2.2	164				169		SANDY SILT
7.80	2.1	5.8	1.70	1.40	0.00	1.73	1.5	127				108		SANDY SILT
8.00	2.2	6.5	1.80	1.44	0.00	1.96	1.5	149				127		SILTY SAND
8.20	2.3	6.0	1.70	1.47	0.00	1.64	1.5	129				110		SANDY SILT
8.40	3.1	8.1	1.80	1.50	0.00	1.65	2.0	175				170		SANDY SILT
8.60	2.4	7.4	1.90	1.54	0.00	2.14	1.5	175				148		SILTY SAND
8.80	3.0	6.8	1.80	1.58	0.00	1.31	1.9	134				116		SANDY SILT
9.00	3.4	8.7	1.80	1.61	0.00	1.56	2.1	184				183		SANDY SILT
9.20	2.3	6.7	1.80	1.65	0.00	1.93	1.4	153				130		SILTY SAND
9.40	2.6	7.0	1.80	1.68	0.00	1.65	1.6	151				128		SANDY SILT
9.60	3.3	9.0	1.80	1.72	0.00	1.70	1.9	196				183		SANDY SILT
9.80	2.2	6.7	1.80	1.75	0.00	2.02	1.3	156				133		SILTY SAND

Z (m)	Po	P1	Gamma	Sigma'	U	Id	Kd	Ed	Ko	Ocr	q	M	Cu	DESCRIPTION
-------	----	----	-------	--------	---	----	----	----	----	-----	---	---	----	-------------

Quadro 5A – Relatório de sondagem DMT do ensaio 2, localizado no lado de baixo da rodovia.

MESTRADO EM GEOTECNIA			SERRA DE SAO GERALDO						ENSAIO 2				Pag 2	
Z (m)	Po	P1	Gamma	Sigma'	U	Id	Kd	Ed	Ko	Ocr	q	M	Cu	DESCRIPTION
10.00	3.0	9.6	1.90	1.79	0.00	2.22	1.7	229				195		SILTY SAND
10.20	4.2	10.4	1.80	1.83	0.00	1.44	2.3	213				231		SANDY SILT
10.40	3.2	8.1	1.80	1.86	0.00	1.56	1.7	171				145		SANDY SILT
10.60	3.2	9.1	1.90	1.90	0.00	1.85	1.7	205				175		SILTY SAND
10.80	4.6	10.7	1.80	1.93	0.00	1.32	2.4	211				231		SANDY SILT
11.00	5.3	12.7	1.95	1.97	0.00	1.37	2.7	255				313		SANDY SILT
11.20	3.7	10.0	1.80	2.01	0.00	1.67	1.9	216				194		SANDY SILT
11.40	3.2	8.2	1.80	2.04	0.00	1.55	1.6	173				147		SANDY SILT
11.60	3.8	9.6	1.80	2.08	0.00	1.53	1.8	202				174		SANDY SILT
11.80	3.0	9.4	1.90	2.11	0.00	2.09	1.4	220				187		SILTY SAND
12.00	5.1	13.7	1.95	2.15	0.00	1.67	2.4	297				335		SANDY SILT
12.20	5.0	13.7	1.95	2.19	0.00	1.72	2.3	300				330		SANDY SILT
12.40	5.5	14.2	1.95	2.23	0.00	1.57	2.5	300				348		SANDY SILT
12.60	5.1	13.2	1.95	2.27	0.00	1.61	2.2	282				299		SANDY SILT
12.80	3.7	11.7	1.90	2.30	0.00	2.19	1.6	278				237		SILTY SAND
13.00	4.7	12.5	1.80	2.34	0.00	1.67	2.0	271				260		SANDY SILT
13.20	5.3	13.7	1.95	2.38	0.00	1.56	2.2	289				308		SANDY SILT
13.40	3.3	10.2	1.90	2.42	0.00	2.12	1.3	240				204		SILTY SAND
13.60	4.3	12.2	1.90	2.45	0.00	1.86	1.7	275				234		SILTY SAND
13.80	4.6	13.7	2.00	2.49	0.00	2.00	1.8	317				290		SILTY SAND
14.00	3.6	12.2	1.90	2.53	0.00	2.35	1.4	297				252		SILTY SAND
14.20	4.3	12.7	1.90	2.57	0.00	1.92	1.7	289				246		SILTY SAND
14.40	4.3	12.7	1.90	2.60	0.00	1.92	1.7	289				246		SILTY SAND
14.60	6.8	19.7	2.00	2.64	0.00	1.88	2.6	446				547		SILTY SAND
14.80	6.2	16.7	1.95	2.66	0.02	1.68	2.3	362				403		SANDY SILT
Z (m)	Po	P1	Gamma	Sigma'	U	Id	Kd	Ed	Ko	Ocr	q	M	Cu	DESCRIPTION

Quadro 5A (continuação) – Relatório de sondagem DMT do ensaio 2, localizado no lado de baixo da rodovia.

MESTRADO EM GEOTECNIA
LADO DE CIMA DA RODOVIA

SERRA DE SAO GERALDO
ENSAIO DE CAMPO

WATERTABLE m Zw>Zf

Reduction formulae according to Marchetti, ASCE Geot.Jnl.,Mar. 1980, Vol.109, 299-321

NOTE : OCR = 'relative OCR'. OCR below often reasonable. Accuracy can be improved if precise OCR values are available. Then factorize all OCR below by the ratio OCRreference/OCR

Z (m)	Po	Pl	Gamma	Sigma'	U	Id	Kd	Ed	Ko	Ocr	q	M	Cu	DESCRIPTION
0.20	4.3	13.3	1.90	0.03	0.00	2.11	99.9	312				1459		SILTY SAND
0.40	2.7	9.6	1.90	0.07	0.00	2.56	39.5	241				915		SILTY SAND
0.60	3.2	9.4	1.90	0.11	0.00	1.94	30.2	215				763		SILTY SAND
0.80	1.9	5.6	1.80	0.14	0.00	1.93	13.4	128				355		SILTY SAND
1.00	2.4	7.1	1.90	0.18	0.00	1.96	13.5	164				458		SILTY SAND
1.20	2.9	8.1	1.80	0.22	0.00	1.73	13.7	177				495		SANDY SILT
1.40	1.8	5.2	1.80	0.25	0.00	1.84	7.3	117				257		SILTY SAND
1.60	2.0	6.6	1.80	0.29	0.00	2.26	7.1	159				346		SILTY SAND
1.80	2.0	7.4	1.80	0.32	0.00	2.67	6.3	188				393		SILTY SAND
2.00	2.9	9.1	1.90	0.36	0.00	2.14	8.1	215				497		SILTY SAND
2.20	2.2	6.1	1.70	0.39	0.00	1.79	5.6	137				267		SANDY SILT
2.40	3.1	10.1	1.90	0.43	0.00	2.23	7.3	241				532		SILTY SAND
2.60	2.3	8.3	1.90	0.46	0.00	2.63	5.0	210				393		SILTY SAND
2.80	2.5	8.8	1.90	0.50	0.00	2.48	5.1	219				413		SILTY SAND
3.00	2.7	10.3	1.90	0.54	0.00	2.75	5.1	261				495		SILTY SAND
3.20	3.3	9.1	1.80	0.58	0.00	1.77	5.7	201				393		SANDY SILT
3.40	2.4	8.6	1.90	0.61	0.00	2.54	4.0	215				361		SILTY SAND
3.60	2.1	5.9	1.70	0.65	0.00	1.80	3.2	132				189		SANDY SILT
3.80	2.3	7.1	1.90	0.68	0.00	2.14	3.3	168				248		SILTY SAND
4.00	2.4	8.8	1.90	0.72	0.00	2.64	3.4	223				341		SILTY SAND
4.20	2.8	8.6	1.90	0.76	0.00	2.13	3.6	204				320		SILTY SAND
4.40	2.4	7.1	1.90	0.79	0.00	1.94	3.0	163				225		SILTY SAND
4.60	1.9	5.4	1.80	0.83	0.00	1.88	2.3	122				134		SILTY SAND
4.80	2.4	6.1	1.70	0.87	0.00	1.58	2.7	130				162		SANDY SILT
5.00	2.4	8.8	1.90	0.90	0.00	2.59	2.7	219				291		SILTY SAND
5.20	2.6	9.4	1.90	0.94	0.00	2.61	2.8	237				322		SILTY SAND
5.40	0.8	9.3	1.80	0.98	0.00	10.20	0.9	295				251		SAND
5.60	2.1	9.1	1.90	1.01	0.00	3.29	2.1	241				274		SILTY SAND
5.80	2.2	7.8	1.90	1.05	0.00	2.53	2.1	195				216		SILTY SAND
6.00	1.7	7.3	1.80	1.08	0.00	3.40	1.5	197				172		SAND
6.20	2.0	11.8	1.90	1.12	0.00	4.95	1.8	339				337		SAND
6.40	0.5	14.8	1.80	1.16	0.00	27.81	0.4	494				420		SAND
6.60	3.3	13.8	1.90	1.19	0.00	3.11	2.8	361				504		SILTY SAND
6.80	1.5	22.0	1.90	1.23	0.00	14.11	1.2	714				607		SAND
7.00	1.3	9.1	1.80	1.27	0.00	6.24	1.0	274				233		SAND
7.20	2.0	16.8	1.90	1.30	0.00	7.21	1.6	510				454		SAND
7.40	0.8	9.6	1.80	1.34	0.00	10.68	0.6	305				259		SAND
7.60	1.8	13.8	1.90	1.38	0.00	6.77	1.3	416				353		SAND
7.80	0.9	7.5	1.80	1.41	0.00	7.09	0.7	228				194		SAND
8.00	1.9	9.4	1.90	1.45	0.00	3.89	1.3	261				222		SAND
8.20	1.9	7.5	1.80	1.49	0.00	3.01	1.3	195				166		SILTY SAND
8.40	0.7	11.8	1.80	1.52	0.00	15.45	0.5	383				325		SAND
8.60	1.9	19.8	1.90	1.56	0.00	9.17	1.2	618				525		SAND
8.80	2.8	22.8	1.90	1.59	0.00	7.16	1.8	693				683		SAND
9.00	1.7	11.8	1.90	1.63	0.00	5.86	1.1	348				296		SAND
9.20	1.7	9.8	1.90	1.67	0.00	4.89	1.0	281				239		SAND
9.40	5.0	20.3	2.00	1.70	0.00	3.04	2.9	529				760		SILTY SAND

Quadro 6A – Relatório de sondagem DMT do ensaio 3, localizado no lado de cima da rodovia.

MESTRADO EM GEOTECNIA
LADO DE CIMA DA RODOVIA

SERRA DE SAO GERALDO
ENSAIO DE CAMPO

WATERTABLE m Zw>Zf

Reduction formulae according to Marchetti, ASCE Geot.Jnl.,Mar. 1980, Vol.109, 299-321

NOTE : OCR = 'relative OCR'. OCR below often reasonable. Accuracy can be improved if precise OCR values are available. Then factorize all OCR below by the ratio OCRreference/OCR

Po	=	Corrected A reading	bar	INTERPRETED GEOTECHNICAL PARAMETERS	
P1	=	Corrected B reading	bar	-----	
Gamma	=	Bulk unit weight/GammaH2O	(-)	Ko = In situ earth press. coeff.	(-)
Sigma'	=	Effective overb. stress	bar	Ocr= Overconsolidation ratio	(-)
U	=	Pore pressure	bar	q = Eroded overburden above g.s.	bar
Id	=	Material Index	(-)	M = Constrained modulus (at Sigma')	bar
Kd	=	Horizontal stress index	(-)	Cu = Undrained shear strength	bar
Ed	=	Dilatometer modulus	bar		

Z (m)	Po	P1	Gamma	Sigma'	U	Id	Kd	Ed	Ko	Ocr	q	M	Cu	DESCRIPTION
0.20	2.7	7.4	1.80	0.03	0.00	1.75	86.2	164				744		SANDY SILT
0.40	2.3	6.8	1.80	0.07	0.00	1.99	34.0	157				573		SILTY SAND
0.60	2.3	6.5	1.80	0.10	0.00	1.84	22.3	146				475		SILTY SAND
0.80	2.2	4.7	1.70	0.14	0.00	1.14	16.1	87	2.5	25.9	3.4	258	0.41	SILT
1.00	1.2	3.5	1.80	0.17	0.00	1.85	7.2	78				171		SILTY SAND
1.20	1.3	4.4	1.80	0.21	0.00	2.32	6.5	107				226		SILTY SAND
1.40	2.3	6.3	1.70	0.24	0.00	1.74	9.5	138				339		SANDY SILT
1.60	2.2	6.3	1.80	0.27	0.00	1.83	8.1	142				328		SILTY SAND
1.80	1.7	5.2	1.80	0.31	0.00	2.12	5.4	122				235		SILTY SAND
2.00	2.9	8.0	1.80	0.35	0.00	1.73	8.5	177				415		SANDY SILT
2.20	2.5	6.6	1.80	0.38	0.00	1.65	6.5	142				297		SANDY SILT
2.40	3.0	6.6	1.80	0.42	0.00	1.19	7.2	124	1.5	7.4	2.7	270	0.46	SILT
2.60	2.0	5.3	1.70	0.45	0.00	1.61	4.5	113				196		SANDY SILT
2.80	2.2	6.1	1.70	0.48	0.00	1.71	4.6	133				235		SANDY SILT
3.00	2.7	6.3	1.80	0.52	0.00	1.32	5.2	124				231		SANDY SILT
3.20	1.8	4.8	1.70	0.55	0.00	1.60	3.3	102				147		SANDY SILT
3.40	2.4	6.2	1.70	0.59	0.00	1.60	4.1	133				218		SANDY SILT
3.60	3.5	8.2	1.80	0.62	0.00	1.38	5.6	166				320		SANDY SILT
3.80	2.7	7.6	1.90	0.66	0.00	1.81	4.1	169				281		SILTY SAND
4.00	2.1	5.3	1.70	0.69	0.00	1.54	3.0	111				149		SANDY SILT
4.20	2.7	7.6	1.90	0.73	0.00	1.83	3.7	171				268		SILTY SAND
4.40	3.0	9.1	1.90	0.76	0.00	2.06	3.9	213				347		SILTY SAND
4.60	3.1	8.7	1.90	0.80	0.00	1.80	3.9	195				313		SILTY SAND
4.80	0.8	9.7	1.80	0.84	0.00	11.93	0.9	312				265		SAND
5.00	5.6	12.7	1.95	0.87	0.00	1.26	6.5	246				509		SANDY SILT
5.20	3.7	9.6	1.80	0.91	0.00	1.60	4.1	206				336		SANDY SILT
5.40	3.7	8.4	1.80	0.95	0.00	1.31	3.9	166				260		SANDY SILT
5.60	6.1	14.2	1.95	0.98	0.00	1.32	6.3	281				573		SANDY SILT
5.80	3.9	10.7	1.80	1.02	0.00	1.75	3.8	237				376		SANDY SILT
6.00	5.0	14.2	2.00	1.06	0.00	1.82	4.8	319				574		SILTY SAND
6.20	5.3	17.7	2.00	1.09	0.00	2.32	4.9	430				793		SILTY SAND
6.40	3.7	9.3	1.80	1.13	0.00	1.50	3.3	193				274		SANDY SILT
6.60	3.8	9.6	1.80	1.17	0.00	1.55	3.2	202				284		SANDY SILT
6.80	2.6	6.4	1.80	1.20	0.00	1.43	2.2	131				135		SANDY SILT
7.00	1.8	4.6	1.70	1.24	0.00	1.48	1.5	95				81		SANDY SILT
7.20	2.2	5.3	1.70	1.27	0.00	1.44	1.7	109				93		SANDY SILT
7.40	2.0	5.2	1.70	1.31	0.00	1.58	1.6	111				94		SANDY SILT
7.60	2.0	4.5	1.70	1.34	0.00	1.23	1.5	86				73		SANDY SILT
7.80	2.2	5.0	1.70	1.37	0.00	1.24	1.6	97				82		SANDY SILT
8.00	3.1	7.1	1.80	1.41	0.00	1.31	2.2	140				142		SANDY SILT
8.20	2.8	7.0	1.80	1.44	0.00	1.48	2.0	146				135		SANDY SILT
8.40	3.0	11.2	1.90	1.48	0.00	2.69	2.1	284				311		SILTY SAND
8.60	3.4	10.1	1.90	1.51	0.00	1.97	2.3	233				258		SILTY SAND
8.80	5.6	17.2	2.00	1.55	0.00	2.09	3.6	404				627		SILTY SAND
9.00	4.0	14.5	1.90	1.59	0.00	2.65	2.5	366				463		SILTY SAND
9.20	6.8	16.7	1.95	1.63	0.00	1.46	4.2	344				570		SANDY SILT
9.40	11.3	29.2	2.10	1.67	0.00	1.59	6.8	623				1324		SANDY SILT

Z (m)	Po	P1	Gamma	Sigma'	U	Id	Kd	Ed	Ko	Ocr	q	M	Cu	DESCRIPTION
-------	----	----	-------	--------	---	----	----	----	----	-----	---	---	----	-------------

Quadro 7A – Relatório de sondagem DMT do ensaio 4, localizado no lado de cima da rodovia.

MESTRADO EM GEOTECNIA
FAZENDASERRA DE SAO GERALDO
ENSAIO DE CAMPO

WATERTABLE m 7

Reduction formulae according to Marchetti, ASCE Geot.Jnl., Mar. 1980, Vol.109, 299-321

NOTE : OCR = 'relative OCR'. OCR below often reasonable. Accuracy can be improved if precise
OCR values are available. Then factorize all OCR below by the ratio OCRreference/OCR

Z (m)	Po	P1	Gamma	Sigma'	U	Id	Kd	Ed	Ko	Ocr	q	M	Cu	DESCRIPTION
0.20	2.7	5.9	1.70	0.03	0.00	1.17	86.6	111	6.1	>99.9	3.1	503	0.77	SILT
0.40	2.1	5.6	1.70	0.06	0.00	1.71	31.7	122						SANDY SILT
0.60	2.2	5.0	1.70	0.10	0.00	1.21	22.8	94						SANDY SILT
0.80	2.1	4.1	1.70	0.13	0.00	0.91	16.2	67	2.5	26.1	3.3	198	0.39	SILT
1.00	1.9	4.1	1.70	0.16	0.00	1.12	11.6	74	2.0	15.6	2.4	196	0.33	SILT
1.20	1.8	4.4	1.70	0.20	0.00	1.46	9.1	91						SANDY SILT
1.40	2.3	6.7	1.80	0.23	0.00	1.88	10.0	151						SILTY SAND
1.60	2.2	6.4	1.80	0.27	0.00	1.93	8.1	145						SILTY SAND
1.80	1.9	4.4	1.70	0.30	0.00	1.32	6.3	87						SANDY SILT
2.00	1.9	5.3	1.80	0.34	0.00	1.83	5.5	118						SILTY SAND
2.20	1.8	4.8	1.70	0.37	0.00	1.60	4.9	102						SANDY SILT
2.40	1.9	4.7	1.70	0.40	0.00	1.43	4.8	96						SANDY SILT
2.60	2.1	4.9	1.70	0.44	0.00	1.33	4.8	96						SANDY SILT
2.80	2.4	5.9	1.70	0.47	0.00	1.44	5.1	120						SANDY SILT
3.00	2.4	6.1	1.70	0.50	0.00	1.50	4.8	127						SANDY SILT
3.20	1.8	4.4	1.70	0.54	0.00	1.46	3.3	91						SANDY SILT
3.40	2.5	6.1	1.70	0.57	0.00	1.45	4.4	125						SANDY SILT
3.60	2.3	5.9	1.70	0.60	0.00	1.55	3.8	124						SANDY SILT
3.80	2.9	6.4	1.80	0.64	0.00	1.23	4.5	122						SANDY SILT
4.00	2.4	6.3	1.70	0.67	0.00	1.57	3.6	133						SANDY SILT
4.20	3.0	7.4	1.80	0.71	0.00	1.46	4.3	153						SANDY SILT
4.40	2.8	7.0	1.80	0.74	0.00	1.51	3.7	145						SANDY SILT
4.60	3.0	7.5	1.80	0.78	0.00	1.54	3.8	158						SANDY SILT
4.80	3.2	8.0	1.80	0.81	0.00	1.49	3.9	165						SANDY SILT
5.00	3.2	7.4	1.80	0.85	0.00	1.30	3.8	145						SANDY SILT
5.20	3.2	8.3	1.80	0.88	0.00	1.56	3.7	175						SANDY SILT
5.40	4.1	9.4	1.80	0.92	0.00	1.29	4.5	184						SANDY SILT
5.60	4.3	11.9	1.80	0.95	0.00	1.75	4.5	262						SANDY SILT
5.80	4.5	11.9	1.80	0.99	0.00	1.62	4.6	255						SANDY SILT
6.00	4.2	11.4	1.80	1.02	0.00	1.69	4.1	247						SANDY SILT
6.20	3.2	8.1	1.80	1.06	0.00	1.49	3.1	167						SANDY SILT
6.40	6.8	20.4	2.00	1.09	0.00	2.01	6.2	471						SILTY SAND
6.60	4.4	13.9	2.00	1.13	0.00	2.14	3.9	328						SILTY SAND
6.80	5.1	12.4	1.95	1.17	0.00	1.44	4.3	253						SANDY SILT
7.00	3.1	8.2	1.80	1.21	0.00	1.61	2.6	175						SANDY SILT
7.20	0.8	9.9	1.80	1.23	0.02	10.99	0.7	313						SAND
7.40	5.1	12.9	1.95	1.24	0.04	1.53	4.1	269						SANDY SILT
7.60	5.2	13.4	1.95	1.26	0.06	1.60	4.1	284						SANDY SILT
7.80	4.8	13.7	2.00	1.28	0.08	1.88	3.7	308						SILTY SAND
8.00	5.5	15.9	2.00	1.30	0.10	1.93	4.1	360						SILTY SAND
8.20	5.6	16.4	2.00	1.32	0.12	1.99	4.1	375						SILTY SAND
8.40	3.3	10.9	1.90	1.34	0.14	2.38	2.4	262						SILTY SAND
8.60	2.1	5.6	1.70	1.36	0.16	1.77	1.4	120						SANDY SILT
8.80	5.3	12.4	1.95	1.37	0.18	1.36	3.8	244						SANDY SILT
9.00	5.6	15.4	2.00	1.39	0.20	1.80	3.9	338						SILTY SAND
9.20	5.5	18.4	2.00	1.41	0.22	2.46	3.7	448						SILTY SAND
9.40	6.9	19.4	2.00	1.43	0.24	1.88	4.6	433						SILTY SAND
9.60	6.9	19.4	2.00	1.45	0.26	1.89	4.6	433						SILTY SAND

Quadro 8A – Relatório de sondagem DMT do ensaio 5, localizado no lado dentro da Fazenda.

MESTRADO EM GEOTECNIA
FAZENDASERRA DE SAO GERALDO
ENSAIO DE CAMPO

WATERTABLE m Zw>Zf

Reduction formulae according to Marchetti, ASCE Geot.Jnl., Mar. 1980, Vol.109, 299-321

NOTE : OCR = 'relative OCR'. OCR below often reasonable. Accuracy can be improved if precise
OCR values are available. Then factorize all OCR below by the ratio OCRreference/OCR

Z (m)	Po	Pl	Gamma	Sigma'	U	Id	Kd	Ed	Ko	Ocr	q	M	Cu	DESCRIPTION
0.20	0.5	5.6	1.70	0.03	0.00	9.30	17.4	177				535		SAND
0.40	2.3	6.0	1.70	0.06	0.00	1.61	35.7	129				479		SANDY SILT
0.60	1.0	1.2	1.50	0.10	0.00	0.20	10.5	7	1.9	13.3	1.2	19	0.17	MUD
0.80	1.8	4.5	1.70	0.13	0.00	1.51	14.2	95				268		SANDY SILT
1.00	2.9	7.0	1.80	0.16	0.00	1.43	18.0	144				440		SANDY SILT
1.20	2.5	9.6	1.90	0.20	0.00	2.86	12.7	248				676		SILTY SAND
1.40	3.0	11.3	1.90	0.23	0.00	2.72	13.0	288				792		SILTY SAND
1.60	2.7	8.4	1.90	0.27	0.00	2.17	9.8	200				498		SILTY SAND
1.80	2.0	5.6	1.80	0.31	0.00	1.87	6.4	128				265		SILTY SAND
2.00	2.6	6.8	1.80	0.34	0.00	1.59	7.7	146				328		SANDY SILT
2.20	2.6	6.5	1.80	0.38	0.00	1.51	6.9	137				292		SANDY SILT
2.40	2.7	8.0	1.90	0.41	0.00	1.99	6.5	186				389		SILTY SAND
2.60	3.0	7.3	1.80	0.45	0.00	1.44	6.6	149				314		SANDY SILT
2.80	3.3	7.1	1.80	0.49	0.00	1.19	6.7	135	1.4	6.6	2.7	284	0.48	SILT
3.00	3.1	8.3	1.80	0.52	0.00	1.65	6.0	180				363		SANDY SILT
3.20	2.6	8.0	1.90	0.56	0.00	2.12	4.6	189				339		SILTY SAND
3.40	2.4	7.1	1.90	0.59	0.00	1.93	4.1	162				268		SILTY SAND
3.60	2.6	7.0	1.80	0.63	0.00	1.73	4.1	155				255		SANDY SILT
3.80	3.4	8.9	1.80	0.67	0.00	1.63	5.1	191				354		SANDY SILT
4.00	1.2	3.1	1.60	0.70	0.00	1.51	1.8	66				56		SANDY SILT
4.20	2.4	7.2	1.90	0.73	0.00	2.05	3.2	168				242		SILTY SAND
4.40	3.2	8.1	1.80	0.77	0.00	1.54	4.2	171				283		SANDY SILT
4.60	2.3	7.6	1.90	0.81	0.00	2.34	2.8	186				251		SILTY SAND
4.80	2.7	8.6	1.90	0.84	0.00	2.25	3.1	208				299		SILTY SAND
5.00	4.7	14.8	2.00	0.88	0.00	2.19	5.3	353				676		SILTY SAND
5.20	3.9	13.8	1.90	0.92	0.00	2.58	4.2	346				596		SILTY SAND
5.40	4.4	11.3	1.80	0.96	0.00	1.60	4.6	242				423		SANDY SILT
5.60	4.1	21.3	2.00	0.99	0.00	4.18	4.1	598				1037		SAND
5.80	4.4	23.8	2.00	1.03	0.00	4.40	4.3	674				1188		SAND
6.00	6.1	27.2	2.00	1.07	0.00	3.44	5.7	732				1476		SAND
6.20	5.2	11.3	1.80	1.11	0.00	1.18	4.7	213	1.1	3.8	3.1	373	0.71	SILT
6.40	8.0	16.8	1.95	1.15	0.00	1.10	7.0	306	1.5	7.1	6.9	657	1.21	SILT
6.60	8.5	39.8	2.15	1.18	0.00	3.66	7.2	1086				2407		SAND

Quadro 9A – Relatório de sondagem DMT do ensaio 6, localizado no lado dentro da Fazenda.

