

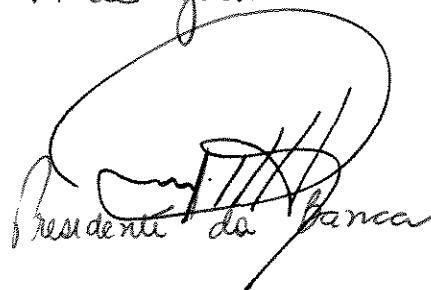
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

Desenvolvimento de Equipamento para Extração de Amostras Indeformadas de Solo

Marcos Alexandre Teixeira

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Marcos Alexandre Teixeira e aprovada pela Comissão Julgadora em 17 de julho de 1998. Campinas, 18 de agosto de 1998.


Presidente da Banca

Campinas, 1998
S. P. - Brasil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Desenvolvimento de Equipamento para Extração de Amostras Indeformadas de Solo

Autor: **Marcos Alexandre Teixeira**

Orientador: **Prof. Dr. Paulo Sérgio G. Magalhães**

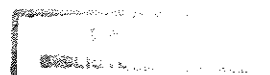
Curso: Engenharia Agrícola

Área de concentração: Desenvolvimento de máquinas agrícolas

Dissertação de mestrado apresentada à comissão de Pós graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Campinas, 1998

S. P. - Brasil



982.2258

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	T/UNICAMP
	T235d
V.	Ex.
TEMPO BC/	35500
PROC.	395/98
C	☐
D	☒
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	22/10/98
N.º CPD	

CM-00117474-4

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

T235d Teixeira, Marcos Alexandre
Desenvolvimento de equipamento para extração de
amostras indeformadas de solo. / Marcos Alexandre
Teixeira.--Campinas, SP: [s.n.], 1998.

Orientador: Paulo Sérgio G. Magalhães.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Solos - Amostragem. 2. Solos – Equipamento e
acessórios. I. Magalhães, Paulo Sérgio G. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Agrícola. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

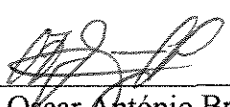
Desenvolvimento de Equipamento para Extração de Amostras Indeformadas de Solo

Autor: **Marcos Alexandre Teixeira**

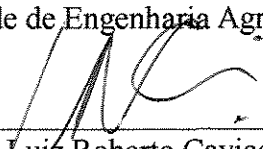
Orientador: **Prof. Dr. Paulo Sérgio G. Magalhães**



Prof. Livre Docente Paulo Sérgio Graziano Magalhães - Orientador
Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Oscar Antônio Braunbeck
Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Luiz Roberto Cavicchia
Faculdade de Engenharia Civil - Universidade Estadual de Campinas

Campinas, 17 de julho de 1998

Aos Laboratórios de Solos e de Construções Rurais da Faculdade nas figuras das técnicas:
Sra. Célia Panzarini Gonçalves, Sra. Liz de Carvalho Freitas e Sra. Gisleiva Cristina dos Santos
Ferreira, pelo auxílio e suporte na realização dos ensaios de densidade e granulometria.

Agradeço à minha família pelo apoio e interesse despertados ao longo dos trabalhos.

Agradeço à Gláucia Cristiani Montoro Teixeira, minha amada esposa, pelo suporte
emocional e pelos constantes incentivos.

Dedicatória

Dedico este trabalho a todos os que o tornaram possível. Em especial:

Mi Papa e Mama

Gláucia, minha esposa mais que querida

Nois é jeca nos é joia,

tem gente que nos critica e

gente que nos apoia.

(anônimo)

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. AMOSTRAS	4
3.2. AMOSTRAGEM DE SOLOS.....	5
3.3. CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS.....	18
3.4. CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS SOLOS.....	20
3.4.1. <i>Determinação da classe textural</i>	20
3.4.2. <i>Propriedades mecânicas</i>	20
3.4.2.1. <i>Características de resistência à compressão</i>	20
3.4.2.2. <i>Características de adensamento</i>	22
3.5. AVALIAÇÃO DE AMOSTRADORES.....	24
4. PROJETO E CONSTRUÇÃO DO AMOSTRADOR.....	26
4.1. MATERIAL E MÉTODO.....	26
4.1.1. <i>Veículo</i>	26
4.1.2. <i>Amostrador</i>	27
4.1.3. <i>Adaptação ao veículo</i>	30
4.1.4. <i>Estabilidade, dirigibilidade e capacidade de tração</i>	31
4.1.4.1. <i>Verificação do CG</i>	31
4.1.4.2. <i>Estabilidade lateral</i>	32
4.1.4.3. <i>Capacidade de aclone</i>	33
4.2. ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO	34
4.2.1. <i>Dispositivo de cravação</i>	34
4.2.2. <i>Adaptação ao veículo</i>	36
4.2.3. <i>Sacador</i>	37
4.2.4. <i>Características dinâmicas do conjunto</i>	38
4.3. CONFIGURAÇÃO FINAL	39
4.4. CONCLUSÕES	39
5. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS AMOSTRAS	41
5.1. MATERIAL E MÉTODO.....	41
5.1.1. <i>Local</i>	41
5.1.2. <i>Avaliação</i>	42
5.1.3. <i>Ensaio</i>	43
5.1.3.1. <i>Determinação da classe textural (KIEHL, 1979)</i>	43
5.1.3.2. <i>Umidade</i>	44
5.1.3.3. <i>Densidade Global</i>	45
5.1.3.4. <i>Teste de compressão triaxial</i>	46
5.1.3.5. <i>Ensaio de adensamento</i>	49
5.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
5.2.1. <i>Caracterização do solo</i>	52
5.3. AVALIAÇÃO	52
5.3.1. <i>Ensaio preliminares: densidade global</i>	52
5.3.2. <i>Densidade global: método da parafina</i>	60
5.3.3. <i>Ensaio de compressão triaxial</i>	63
5.3.4. <i>Ensaio de adensamento</i>	65

6. CONCLUSÕES	67
7. PROPOSTAS PARA FUTUROS TRABALHOS	69
7.1. VEÍCULO AMOSTRADOR DE SOLOS.....	69
7.2. MECANISMO DE ADAPTAÇÃO DO AMOSTRADOR	69
7.3. AMOSTRADOR	69
7.3.1. Avaliação	70
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
9. ANEXO 1 - DADOS PARA OBTENÇÃO DO CENTRO DE GRAVIDADE	75
10. ANEXO 2 - DADOS PARA OBTENÇÃO DA DENSIDADE DO SOLO: MÉTODO DO ANEL.....	76
11. ANEXO 3 - DADOS PARA OBTENÇÃO DA DENSIDADE DO SOLO COM USO DE ÓLEO	81
12. ANEXO 4 - DADOS PARA OBTENÇÃO DA DENSIDADE DO SOLO: MÉTODO DA PARAFINA.....	87
13. ANEXO 5 - DADOS DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO TRIAXIAL.....	95
14. ANEXO 6 - DADOS DOS ENSAIOS DE ADENSAMENTO.....	97

Resumo

Desenvolveu-se um equipamento capaz de coletar amostras indeformadas de solo com 70 mm de diâmetro a até 600 mm de profundidade, visando facilitar a obtenção deste tipo de amostras. O amostrador é constituído por um tubo de PVC com 75 mm de diâmetro interno, que recebe a amostra, acondicionado dentro de um tubo cravador, estrutural, de alumínio, com 78,5 mm de diâmetro interno, equipado com uma ponteira de aço SAE 1045 com 69 mm de diâmetro interno, conicidade interna de 1% e altura de 44,3 mm, formando um conjunto sem movimento rotativo. Envolvendo este conjunto há uma rosca-sem-fim, responsável pela cravação do amostrador, com diâmetro externo de 140 mm, equipada com três lâminas de corte na sua extremidade e rotacionada por um motor hidráulico. O conjunto é montado solidário a um mecanismo articulado, responsável pelo movimento vertical do amostrador, acionado por um cilindro hidráulico. O amostrador foi adaptado a um veículo especificamente projetado para o tráfego no campo (VAS - Veículo Amostrador de Solo). Durante o processo de avaliação, a variável analisada foi a velocidade angular da rosca-sem-fim. O critério para verificar alterações na amostra se deu através de: inspeção visual, umidade, densidade global (métodos do anel volumétrico e da parafina), ensaio de compressão triaxial rápido e ensaio de adensamento. Como testemunha, usou-se amostra de solo colhida pelo método do bloco da parafina.

As amostras obtidas com a utilização do VAS em solo argiloso (Latossolo Roxo) apresentaram os valores de densidade global (com 95% de confiabilidade estatística), características de resistência à compressão (ensaio triaxial) e adensamento iguais à testemunha. O equipamento mostrou-se adequado para o fim que foi projetado, mostrando-se prático e versátil. O conjunto veículo-

amostrador pode ser facilmente posicionado, com uso de GPS, o que o torna bastante útil na coleta de dados para mapeamento de solos e no próprio processo de obtenção de amostras de modo mais eficiente.

Abstract

A soil sampler was designed and constructed to take samples with 0,07 m diameter up to 0,6 m depth in order to obtain undisturbed core samples. The sampler consists mainly of four parts: a removable polyvinyl chloride (PVC) standard sewage pipe with a 0,0712 m inside diameter to receive the soil.; an aluminum encasing sleeve, with a 0,0785 m inside diameter; an auger made of mild steel, with a 0,140 m outside diameter; and a conic cutting end Machined from a SAE 1045 steel, similar to the common available coring tubes with a 0,0692 m inside diameter and a clearance angle of 2%, and 0,0443 m long. The rotational movement of the auger was provide by a timing belt transmission, driven by a hydraulic motor, with a torque 32.4 N.m (at 689 kPa) and volumetric displacement of 96,7 cm³/rev. The hydraulic oil for the motor was supplied by a gear pump, with a volumetric displacement of 6,6 cm³/ver driven by a 12 CV four stroke engine with an operation speed of 3600 rpm. The vertical movement of the sampler is guaranteed by a four arm linkage, moved by a hydraulic cylinder. The total vertical displacement of the sampler is 0,80 m. The downward speed is controlled by a flow valve. Since the cutting chisel and coring ring are in the same plane with only 0,005 m difference in diameter, as opposed to the techniques where the casing is forced into the soil by hydraulic cylinder, only very low pressure must be applied in order to force the cylinder into the soil, with this drilling technique. The soil sampler was adapted to a specially designed off road vehicle capable of traveling on adverse field conditions. The quality of the VAS samples were compared with undisturbed samples taken from a Soil Block using laboratory tests. The tests conducted were the triaxial undrained compression test and consolidation test. The results demonstrated that the soil sampler proposed is capable to take undisturbed soil samples of clay soil up to 0,6 m with the same quality of the traditional Soil Block, witch is much more time consuming.

Lista de Figuras

FIGURA 1: DIMENSÕES DO AMOSTRADOR PARA O STANDARD PENETRATION TEST (TERZAGHI E PECK, 1967).....	7
FIGURA 2: AMOSTRADOR DE PISTÃO, (A) POSIÇÃO INICIAL E (B) APÓS AMOSTRAGEM (TERZAGHI E PECK, 1967)...	8
FIGURA 3: AMOSTRADOR PITCHER, (A) SUSPENSO (B) COROA DE CORTE EM AÇÃO(TERZAGHI E PECK, 1967).....	9
FIGURA 4: AMOSTRADOR DENISON (TERZAGHI E PECK, 1967).....	10
FIGURA 5: DIÂMETROS DO AMOSTRADOR TIPO SHELBY.....	12
FIGURA 6: ESTRANGULAMENTO DA AMOSTRA NA ALTURA DA BORDA DE CORTE (LA ROCHELLE ET AL., 1981).....	13
FIGURA 7: SENTIDO DE MOVIMENTAÇÃO DA AMOSTRA (HEAD, 1988).....	14
FIGURA 8: CORTE SEM ESCALA DO AMOSTRADOR (BUHELLE, 1961).....	15
FIGURA 9: AMOSTRADOR DESENVOLVIDO POR BRAUNBECK.....	16
FIGURA 10: CÍRCULO DE MORH APLICADO AO ENSAIO TRIAXIAL (CAPUTO, 1973).....	21
FIGURA 11: ENSAIO DE ADENSAMENTO, MOSTRANDO AS PARTES PRINCIPAIS DA CURVA E O PONTO CORRESPONDENTE À PRESSÃO DE PRÉ ADENSAMENTO (CAPUTO, 1973).....	23
FIGURA 12: VEÍCULO AMOSTRADOR DE SOLOS (VAS) NO INÍCIO DOS TRABALHOS DE ADAPTAÇÃO DO AMOSTRADOR.....	27
FIGURA 13: PRINCIPAIS ELEMENTOS DO AMOSTRADOR.....	29
FIGURA 14: AMOSTRADOR COM AS PRINCIPAIS MEDIDAS[MM].....	29
FIGURA 15: DESENHO DO MECANISMO DE 4 BARRAS, PARA SUPORTE DO AMOSTRADOR.....	30
FIGURA 16: APLICAÇÃO DO MÉTODO DA PESAGEM, NA LOCALIZAÇÃO DO CG (BARGER,E. L. ET AL. ; 1976).....	31
FIGURA 17: POSIÇÃO DAS LÂMINAS DE CORTE.....	35
FIGURA 18: REFORMULAÇÃO DAS LÂMINAS DE CORTE.....	35
FIGURA 19: DESENHO ESQUEMÁTICO DA POSIÇÃO DE TRABALHO DAS 2 LÂMINAS.....	35
FIGURA 20: DESENHO ESQUEMÁTICO DA POSIÇÃO DE TRABALHO DAS 3 LÂMINAS.....	35
FIGURA 21: CORTE DA PONTEIRA ORIGINAL DE CRAVAÇÃO (MEDIDAS EM MM).....	36
FIGURA 22: CORTE DA NOVA PONTEIRA DE CRAVAÇÃO. (MEDIDAS EM MM).....	36
FIGURA 23: SACADOR COM ÊMBOLOS UTILIZADO PARA RETIRAR AS AMOSTRAS DO INTERIOR DO TUBO AMOSTRADOR.....	37
FIGURA 24: AMOSTRA DE SOLO SENDO RETIRADA.....	37
FIGURA 25: DESENHO ESQUEMÁTICO, COM AS PRINCIPAIS DIMENSÕES E LOCALIZAÇÃO DO CG.....	38
FIGURA 26: CONJUNTO MONTADO DO AMOSTRADOR.....	40
FIGURA 27: AMOSTRADOR ADAPTADO AO VAS.....	40
FIGURA 28: APARATO PARA ENSAIO TRIAXIAL (CAPUTO, 1973).....	47
FIGURA 29: ENSAIO DE ADENSAMENTO (CAPUTO, 1973).....	50
FIGURA 30: GRÁFICO OBTIDO COM OS RESULTADOS DO ENSAIO DE ADENSAMENTO, MOSTRANDO AS PARTES PRINCIPAIS DA CURVA E O PONTO CORRESPONDENTE À PRESSÃO DE PRÉ ADENSAMENTO (CAPUTO, 1973).....	51
FIGURA 31: PERFIL COMPARATIVO DE DENSIDADE, OBTIDA PELO MÉTODO DO ANEL VOLUMÉTRICO EM AMOSTRAS: INDEFORMADA E COLHIDAS PELO VAS.....	53
FIGURA 32: PERFIL DE UMIDADE, OBTIDO COM O VAS E AMOSTRA INDEFORMADA.....	54
FIGURA 33: INTERIOR DO TUBO, SEM ÓLEO , APÓS RETIRADA DA AMOSTRA.....	57
FIGURA 34: A AMOSTRA DE SOLO COMPRIMIDA NA RETIRADA DO TUBO AMOSTRADOR.....	57
FIGURA 35: INTERIOR DO TUBO, COM ÓLEO , APÓS RETIRADA DA AMOSTRA.....	57
FIGURA 36: VALORES DE DENSIDADE PELO MÉTODO DO ANEL VOLUMÉTRICO, EM AMOSTRAS: INDEFORMADA E COLHIDAS PELO VAS COM USO DE ÓLEO SAE 30 A 300 RPM.....	58
FIGURA 37: VALORES DE DENSIDADE PELO MÉTODO DO ANEL VOLUMÉTRICO, EM AMOSTRAS: INDEFORMADA E COLHIDAS PELO VAS COM USO DE ÓLEO SAE 30, NAS TRÊS ROTAÇÕES.....	59
FIGURA 38: VALORES DE DENSIDADE, DE AMOSTRAS COLHIDAS PELO VAS COM FILME DE ÓLEO SAE 30, NAS TRÊS ROTAÇÕES, OBTIDOS ATRAVÉS DO MÉTODO DA PARAFINA E DE AMOSTRA INDEFORMADA, PELOS MÉTODOS DO ANEL VOLUMÉTRICO E DA PARAFINA.....	61
FIGURA 39: CÍRCULO DE MOHR, REFERENTE AOS ENSAIOS TRIAXIAIS; PROFUNDIDADE DE TRABALHO 0 A 0,30 M.....	63
FIGURA 40: LINHA Kf, COM A REGIÃO DO ERRO ASSOCIADO; PROFUNDIDADE DE TRABALHO 0 A 0,30 M.....	63
FIGURA 41: CÍRCULO DE MOHR, REFERENTE AOS ENSAIOS TRIAXIAIS; PROFUNDIDADE DE TRABALHO 0,30 A 0,60 M.....	64
FIGURA 42: LINHA Kf, COM A REGIÃO DO ERRO ASSOCIADO; PROFUNDIDADE DE TRABALHO 0,30 A 0,60 M.....	64
FIGURA 43: RESULTADO DO ENSAIO DE ADENSAMENTO EM AMOSTRA COLHIDA PELO VAS E INDEFORMADA.....	65

Lista de Tabelas

TABELA 1: VALORES DE DENSIDADE, PELO MÉTODO DO ANEL VOLUMÉTRICO, EM AMOSTRAS: IDEFORMADA E COLHIDAS PELO VAS.....	53
TABELA 2: PERFIL DE UMIDADE OBTIDO COM O USO DE AMOSTRAS COLHIDAS PELO VAS.....	54
TABELA 3: VALORES DE DENSIDADE PELO MÉTODO DO ANEL VOLUMÉTRICO, EM AMOSTRAS: IDEFORMADA E COLHIDAS PELO VAS, A 300 RPM, SEM E COM O USO DE ÓLEO SAE 30.	58
TABELA 4: VALORES DE DENSIDADE PELO MÉTODO DO ANEL VOLUMÉTRICO, EM AMOSTRAS: IDEFORMADA E COLHIDAS PELO VAS COM USO DE ÓLEO SAE 30, NAS TRÊS ROTAÇÕES.	59
TABELA 5: PERFIL COMPARATIVO DE DENSIDADE, OBTIDO ATRAVÉS DO MÉTODO DO ANEL VOLUMÉTRICO E DA PARAFINA, EM AMOSTRA INDEFORMADA.	61
TABELA 6: :VALORES DE DENSIDADE, OBTIDOS ATRAVÉS DO MÉTODO DA PARAFINA, EM AMOSTRAS COLHIDAS PELO VAS COM FILME DE ÓLEO SAE 30, NAS TRÊS ROTAÇÕES.	61
TABELA 7: DADOS DE COESÃO E ÂNGULO DE ATRITO INTERNO, OBTIDOS PELO ENSAIO DE COMPRESSÃO TRIAXIAL....	63
TABELA 8: VALORES DA PRESSÃO DE PRÉ ADENSAMENTO OBTIDOS NO ENSAIO DE ADENSAMENTO.	66

1. Introdução

A maior ênfase dos pesquisadores, no campo edafológico, tem sido no desenvolvimento teórico desta ciência. No entanto, para a aplicação prática das teorias assim desenvolvidas, são necessários dados confiáveis, o que só são possíveis com amostras de solo representativas das condições de campo (CORTEZ & MAGALHÃES, 1992).

Devido à variabilidade espacial do solo, para se obter dados representativos, geralmente é necessário coletar um grande número de amostras, onde ficam mais evidentes as dificuldades de operacionalização na coleta (REICHARD et al., 1986).

No trabalho de conhecimento e delineamento deste material, que é o solo, o trabalho à campo consiste na etapa mais crítica.

Quando vai à campo para a coleta de material, o pesquisador tem que optar, dentre os diversos procedimentos para a coleta de amostras de solos, aqueles mais adequados aos seus propósitos (trado, anel volumétrico, trincheiras de observação, etc.), procurando contemplar: qualidade da amostra, tempo de operação, equipamento disponível, pessoal habilitado, condições atmosféricas, etc.. E, quando esta etapa não é bem conduzida, todo o trabalho posterior fica comprometido, seja por problemas de insuficiência numérica de amostras ou pela baixa qualidade das mesmas.

Quando o trabalho é realizado em solo agrícola, a problemática se agrava, pois a maioria dos equipamentos disponíveis se destinam a trabalhos no âmbito da Engenharia Civil.

Com base nestas colocações conclui-se que um equipamento capaz de coletar amostras de solo agrícola com rapidez e segurança seria de grande valia.

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é o de desenvolver e avaliar um equipamento (Veículo Amostrador de solos - VAS) capaz de coletar amostras indeformadas de solo com 75 mm de diâmetro até uma profundidade de 0,6 m, por intermédio dos seguintes objetivos específicos:

- projeto do amostrador;
- construção do protótipo;
- adaptação do amostrador a um veículo adequado ao tráfego em terrenos agrícolas. e
- avaliação da qualidade das amostras.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. Amostras

Uma amostra de solo é uma parcela deste, que pode ser utilizada para sua caracterização; desta forma, existem diferentes tipos de amostras de solo, cada uma delas com objetivos específicos a atender.

As amostras, de acordo com as suas aplicações, podem ser obtidas por diferentes processos de amostragem. Porém, a retirada da amostra, do solo que a circunda, causa uma deformação, a não ser que precauções especiais sejam tomadas. Desta forma, as amostras apresentam-se em diferentes graus de alteração, possibilitando sua divisão em 5 classes distintas (BUENO & VILAR, 1984):

- classe 1: sem distorção e alteração do volume, preservando as características de resistência;
- classe 2: com a umidade e a compacidade inalteradas, mas com características de resistência alterada;
- classe 3: com o teor de umidade e a composição granulométrica inalteradas, mas sem a densidade do solo original;
- classe 4: com a composição granulométrica inalterada, mas com o teor de umidade e a densidade do solo alterados;
- classe 5: com alterações até na composição granulométrica (através da mistura de

horizontes).

As amostras pertencentes à classe 1 são ditas indeformadas, todas as demais são consideradas deformadas.

Como amostras ditas indeformadas entende-se as que não tenham sofrido alterações ou que estas sejam tão pequenas, a ponto de poderem ser utilizadas em ensaios de laboratório para determinação das características das tensões internas e de adensamento, sem que ocorram erros significativos (TSCHEBOTARIOFF, 1973).

Para a determinação de alguns dos parâmetros edafológicos (teor de água, fertilidade, granulometria, densidade, resistência, entre outros), pode ser suficiente o uso de amostras deformadas, mas em alguns casos (onde é preciso manter inalteradas as condições do solo “in situ”), são absolutamente necessárias amostras indeformadas.

3.2. Amostragem de solos

BUENO & VILAR (1984) dividem os métodos de exploração nas seguintes classes: indiretos, semi-diretos e diretos.

Os métodos indiretos baseiam-se em características mensuráveis dos solos, tais como sua condutibilidade elétrica ou a velocidade de propagação de uma onda de compressão (sísmica) para explorar o solo sem que seja necessário fazer uma perfuração. Um destes métodos tem como objetivo medir as variações na resistência elétrica do solo, executadas com uso de eletrodos colocados na superfície. O método sísmico usa uma onda de compressão para determinar os

limites entre diferentes densidades, em especial entre solo e rocha, e baseia-se no fato de que a velocidade aumenta conforme aumenta a densidade do material. Estes métodos são mais utilizados para grandes profundidades, sendo considerados métodos exploratórios, que devem ser corroborados por exames posteriores (TSCHEBOTARIOFF, 1973).

Os métodos semi-diretos têm como exemplo o “Vane Test”, ou ensaio da palheta, que é utilizado para medir a resistência ao cisalhamento de solos coesivos. Seu princípio de funcionamento é a cravação de uma palheta no terreno e a medição do torque necessário para fazê-la girar. Opondo-se a este momento, estão as resistências ao cisalhamento do solo, que se desenvolvem ao longo da superfície lateral e das bases do cilindro de ruptura, que é formado no envoltório da palheta (CAPUTO, 1975).

Os métodos diretos de exploração e reconhecimento do subsolo, são aqueles que se utilizam de porções representativas deste para trabalhar, a exemplo de: poços e trincheiras: com retirada de blocos; sondagem a trado, de simples reconhecimento e sondagens rotativa, mista e por cravação BUENO & VILAR (1984). Na sua maioria, são caracterizados pela utilização de uma amostra de solo retirada pelos diversos tipos de amostradores, resultando em amostras de várias classes.

No caso das amostras ditas indeformadas (classe 1), o método mais simples se utiliza de amostradores ou caixas metálicas que retiram a amostra em blocos; as superfícies expostas da amostra são parafinadas com uma camada de 5 mm de espessura, envolvidas com tela e novamente recobertas com uma nova camada de 5 mm de parafina, podendo ser estocadas sem perda de umidade, por períodos superiores a um ano. Este método é conhecido como o método

do Bloco de Parafina (NOGUEIRA., 1973).

Porém, todos os amostradores apresentam limitações quanto à sua eficácia e aplicabilidade, sendo freqüentemente associados a um tipo de solo que melhor se adapte. Em TERZAGHI e PECK (1967) encontram-se as descrições de diferentes tipos de métodos de amostragem com suas principais características. Dentre os que têm relevância para o presente projeto, destacam-se:

- “Standard Penetration Test” - SPT; utilizando a estrutura desenvolvida por Mohr em 1943, à qual é adaptado o amostrador de 50 mm de diâmetro com 558 mm de comprimento. Este método é considerado um dos mais simples e mais utilizados para a obtenção de amostras deformadas de solos. O amostrador pode ser visto na Figura 1. Consiste de dois tubos meia-cana, unidos por duas roscas nas suas extremidades que, através da aplicação sucessiva de golpes, é cravado no solo. Depois é retirado e desmontado, desrosqueando as pontas, para recolher a amostra deformada, que pode ser utilizada posteriormente para identificação e análise.

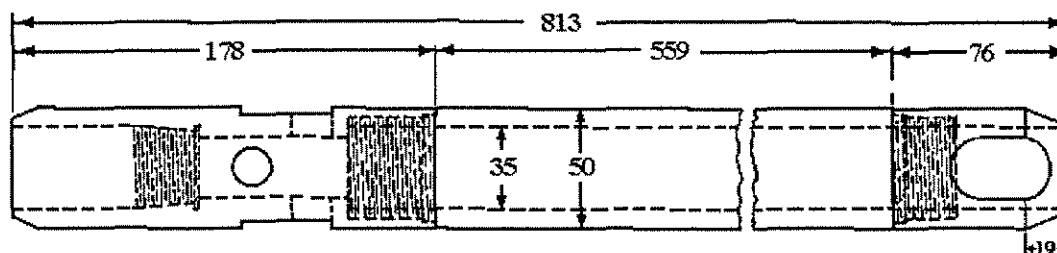


FIGURA 1: Dimensões do amostrador para o Standard Penetration Test (TERZAGHI e PECK, 1967)

- Amostradores de pistão - nesse tipo de amostradores, um pistão mantém contato com o solo, a partir da sua borda inferior, no início da amostragem, até que o amostrador esteja completamente cravado, criando um vácuo e retendo a amostra, de forma a manter a representabilidade da espessura real de cada camada de solo na amostra. Um esquema de operação desse tipo de amostrador pode ser visto na Figura 2.

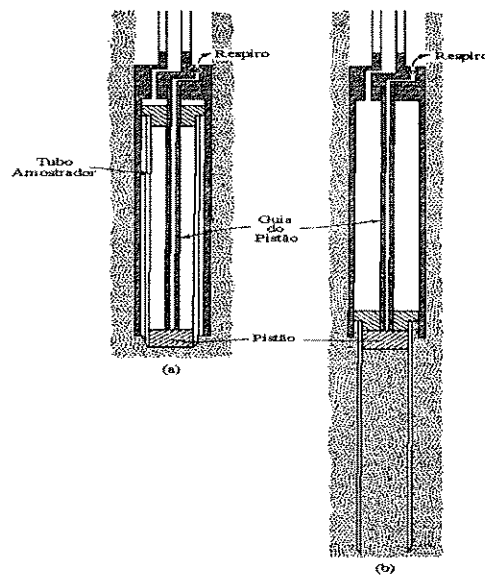


FIGURA 2: Amostrador de pistão, (a) posição inicial e (b) após amostragem (TERZAGHI e PECK, 1967).

- Amostradores do tipo Pitcher - são utilizados quando a resistência à penetração é alta, impedindo a cravação de amostradores tubulares de paredes finas, sem que ocorram danos na borda de corte ou nas paredes do tubo. Estes amostradores combinam cravação com escavação. O tubo de parede fina é cravado no solo, até que a resistência à penetração impeça

seu avanço; a partir deste momento, um tubo externo rotacionado realiza o corte do solo e um fluido que é injetado entre as paredes dos tubos, retira o material excedente da cravação. Os elementos essenciais a este tipo de amostrador podem ser vistos na Figura 3.

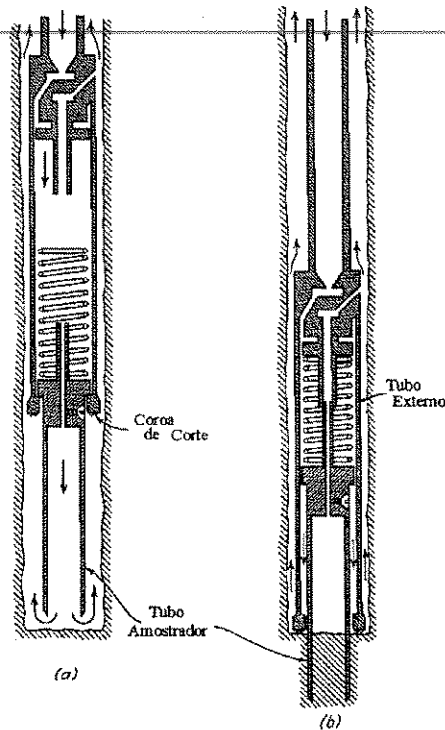


FIGURA 3: Amostrador Pitcher, (a) suspenso (b) coroa de corte em ação (TERZAGHI e PECK, 1967).

- Amostradores do tipo Denison - trata-se de outro tipo de amostrador que alia técnicas de escavação com cravação. O amostrador consiste de um tubo de paredes finas envolvido por uma coroa de corte dentada, que é mantida em rotação e, um fluido em circulação na parte extrema, retira o material que é escavado (Figura 4).

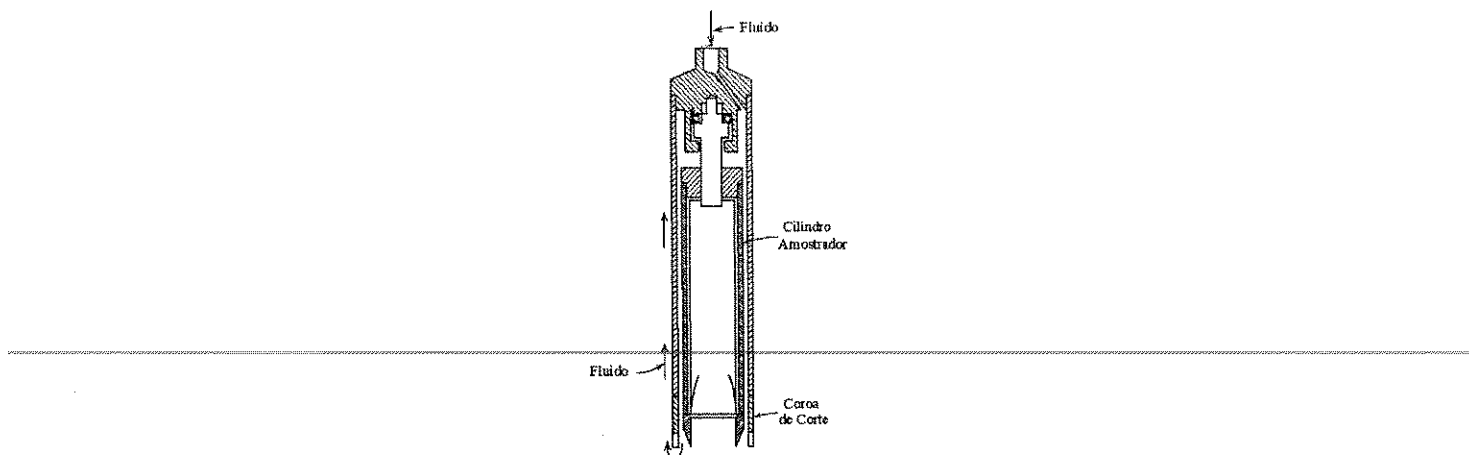


FIGURA 4: Amostrador Denison (TERZAGHI e PECK, 1967).

No uso de amostradores tubulares de paredes finas para obtenção de amostras, através da cravação, as causas mais comuns de perturbação da amostras, de acordo com LA ROCHELLE et al. (1981), são:

1. alterações no solo a ser amostrado antes do início da amostragem, por problemas de má preparação da área;
2. distorção mecânica da amostra durante a cravação;
3. distorção mecânica, combinados com efeitos de sucção durante a retirada do amostrador; e
4. eliminação do estado de tensão em que a amostra se encontrava no solo.

Para a construção destes amostradores tubulares de paredes finas, existem várias características construtivas que influenciam no seu desempenho: geometria, material e metodologia de uso.

Em um trabalho de análise desenvolvido por Hvorslev (HVORSLEV, 1949) de amostradores do tipo Tubo Shelby (paredes finas) de amostras indeformadas, através do uso da relação entre os diâmetros do amostrador dada pela equação 1 e 2, procurou determinar valores mínimos para a relação de áreas (externa e interna) para conferir resistência à parede do amostrador sem comprometer a qualidade da amostra obtida e, estabelecer uma espessura mínima da parede do tubo, para que esta não deforme durante a amostragem. Esta espessura mínima é definida através de uma relação de áreas dada pelas equações 1 e 2 (variando em função do diâmetro e metodologia de uso do amostrador, não devendo exceder o valor de 10%).

$$RA = ((De^2 - Di^2) / Di^2) * 100 \quad (1)$$

$$Esp = ((De - Di)/2) \quad (2)$$

Onde:

RA = relação de áreas [%]

De = diâmetro externo do amostrador [m]

Di = diâmetro interno do amostrador [m]

Esp = espessura da parede do amostrador [m]

Os diâmetros dessa classe de amostradores são bem variados, podendo ser encontrados desde 57 mm (LA ROCHELLE & LEFEBVRE, 1971) a até 200 mm (LA ROCHELLE et al., 1981), os amostradores de diâmetros maiores são reservados para casos especiais, sendo que 75 mm é tido como o mínimo aceitável para investigações de rotina (LA ROCHELLE et al., 1981).

Com o objetivo de facilitar a retenção da amostra no interior do amostrador, após a amostragem, e diminuir o atrito entre esta e as paredes internas do mesmo, TSCHEBOTARIOFF (1973) recomenda uma folga de, no máximo, 1,5 % no diâmetro interno em relação ao diâmetro de corte (Figura 5), calculado pela equação 3. Folgas maiores facilitariam a entrada da amostra no tubo amostrador, não só aumentando o risco de queda, bem como a deformação da amostra ao passar do diâmetro de corte para o interno (LA ROCHELLE et al., 1981).

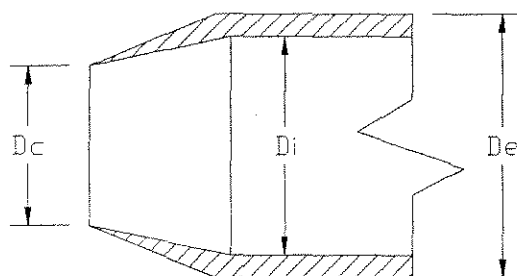


FIGURA 5: Diâmetros do amostrador tipo Shelby.

$$Flg = ((Di - Dc) / De) * 100 \quad (3)$$

Onde:

Flg = folga interna [%]

Di = diâmetro interno do amostrador [m]

Dc = diâmetro de corte do amostrador [m]

De = diâmetro externo do amostrador [m]

Para os casos de amostragens em solos argilosos, altamente coesivos, em que a amostra é facilmente retida no interior do amostrador, os estudos de LA ROCHELLE (1981) mostram que esta folga no tubo em relação ao anel cortante produz, uma expansão lateral da amostra. Como resultado, a maior parte da alteração de volume, tem lugar no lado interno do amostrador (Figura 6), fazendo com que, neste caso específico, a diferença de diâmetro entre o anel e o tubo seja prejudicial.

Com relação ao ângulo de ataque da borda de cravação podem ser encontrados valores que variam de 12 graus (LA ROCHELLE & LEFEBVRE, 1971 e RHOTON & McCHESNEY, 1991) a 5 graus (LA ROCHELLE et al., 1981).

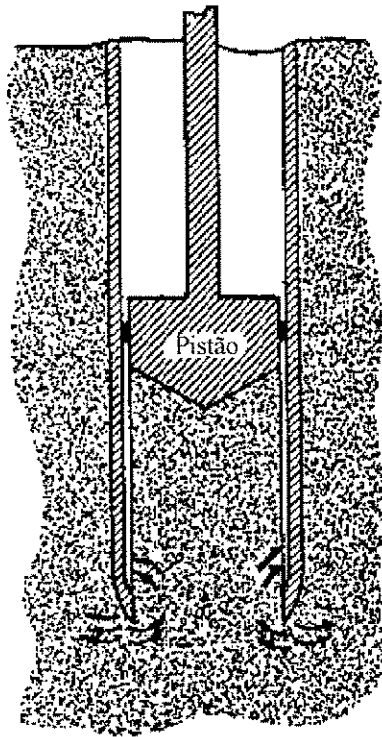


FIGURA 6: Estrangulamento da amostra na altura da borda de corte (LA ROCHELLE et al., 1981).

Quanto ao material, segundo WINTERKORN & FANG (1975), os cilindros amostradores devem ser fabricados em aço inoxidável ou latão, de modo a minimizar a oxidação, para impedir a adesão do solo às paredes do amostrador e facilitar a remoção da amostra, sem causar distúrbios.

ROGERS & CARTER (1987) recomendam uma velocidade uniforme de cravação de 0,15 a 0,30 m/s, no uso de amostradores cilíndricos de pequenos diâmetros (0,076 m), com o objetivo de obtenção das amostras para estudos de condutividade hidráulica. No caso da impossibilidade de controle da velocidade, utilizar uma cravação súbita.

Para a retirada da amostra, do interior do tubo amostrador, HEAD (1988) observa que deve-se respeitar a direção que esta entra no cilindro (Figura 7). Já SCHWEIZER & FREY (1975) encontraram uma solução, congelando e cortando a amostra em segmentos com uma serra, ainda no interior do tubo amostrador, para posterior remoção.

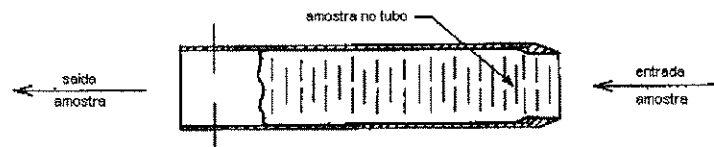


FIGURA 7: Sentido de movimentação da amostra (HEAD, 1988).

Com base na análise das diferentes metodologias para obtenção de amostras de solo já citadas e de suas respectivas considerações, passamos a nos ater aos métodos exploratórios diretos.

Um exemplo deste tipo de amostrador, é o desenvolvido por BUCHELE (1961), que é formado por um cilindro cravador, que permanece fixo durante a amostragem, responsável pelo acondicionamento da amostra. Uma rosca sem-fim rotacionada por um motor elétrico, dotada de dois biseis de corte em sua extremidade, retira o solo ao redor do tubo amostrador, concêntrico ao cilindro cravador. A rosca, ao retirar o material ao redor do cilindro cravador, facilita a cravação e, conseqüentemente, a própria amostragem. A não alteração da densidade volumétrica da amostra pelas tensões de cisalhamento atuantes, devido à movimentação da rosca, é obtida pela não rotação do cilindro cravador. Com o uso deste equipamento, o processo de retirada de amostras mostrou-se eficiente e rápido, conseguindo a média de 1 amostragem por minuto com amostras de 0,075 m de diâmetro e 0,813 m de comprimento. O desenho esquemático deste amostrador pode ser visto na Figura 8.

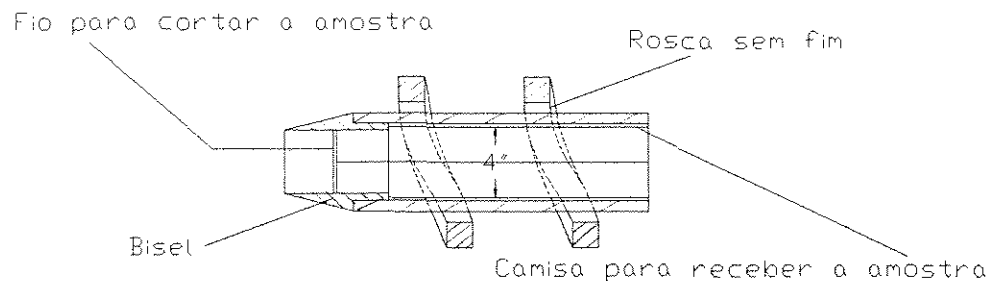


FIGURA 8: Corte sem escala do amostrador (BUCHELLE, 1961).

Quando amostras são colhidas pelo uso de um amostrador do tipo Buchele, o equipamento não deve ser forçado de encontro ao solo, o esforço de cravação é exercido pela rosca-sem-fim. Deve-se procurar minimizar as vibrações decorrentes da rotação da rosca, em

especial quando esta encontra eventuais obstáculos ou horizontes de resistência diferentes. A localização das lâminas de corte devem ser à frente do cilindro cravador, formando um ângulo aproximado de 15 graus com a horizontal. Ao final da perfuração o amostrador é rotacionado manualmente, de modo a quebrar a ligação entre a coluna de amostra e o solo. Uma das maiores limitações deste tipo de equipamento ocorre em solos com cascalho, que inviabilizam a amostragem.

No departamento de Máquinas Agrícolas da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP foi desenvolvido por BRAUNBECK (1986) um equipamento similar ao amostrador de Buchele para amostras indeformadas com 0,063 m. de diâmetro e 0,40 m de comprimento. A diferença, neste equipamento, é a existência de 3 cilindros, sendo dois estacionários, como no de Buchele (o amostrador e o cravador, fixados ao chassis do aparelho, destinados a receberem os esforços de cravação) e o terceiro rotacionado, a 250 rpm, por um motor de arranque automotivo, onde encontra-se soldada externamente, a rosca-sem-fim, que envolve os outros dois tubos.



FIGURA 9: Amostrador desenvolvido por Braunbeck.

Possuindo duas lâminas de corte, localizadas a 6,4 mm à frente do início do tubo cravador, para, segundo o autor, uma melhor cravação do tubo amostrador (Figura 9).

MATHEUS (1995), em trabalho de análise deste amostrador, ressaltaram a dificuldade em obter amostras indeformadas com este equipamento, em solo argiloso. Os autores apontam as principais limitações do equipamento, tais como: aparecimento de fissuras e embuchamento, em umidades superiores a 20%; falta de potência do motor utilizado, que inviabiliza o uso do equipamento em terrenos compactados e problemas de torção na porção superior do tubo amostrador.

3.3. Caracterização de solos

A caracterização física, de um determinado solo, é feita com o levantamento das seguintes propriedades: umidade - relação entre a quantidade de água e a massa de solo; densidade do solo ou densidade global - relação existente entre a massa de uma amostra de solo seca a 110° C e o volume do solo in situ, incluindo os espaços porosos (KIEHL, 1979); consistência definida pelos limites de liquidez e plasticidade (KIEHL, 1979); classe de solo - classificação dos solos pela porcentagem de ocorrência de suas frações constituintes, divididas em função dos seus tamanhos (HARRY e NYLE, 1976); propriedades mecânicas: Coesão, ângulo de atrito interno, características de recalque, condutibilidade hidráulica (KIEHL, 1979).

Ainda com relação à caracterização de um solo, dois tipos apresentam características peculiares, com relação à amostragem:

1. expansivos - solos em que se observa o aumento de volume, quando são retiradas as pressões atuantes ou ocorre a absorção de água. Este comportamento ocorre em função das características físico químicas do solo, devido à presença de certas argilas (ex. montmorilonita), que absorvem água entre as próprias camadas de estrutura cristalina e, neste caso, o volume expandido pode tornar-se maior que o inicial (VARGAS, 1977); e
2. colapsíveis - solos de estado instável, que sofrem redução de volume, quando aumenta a quantidade de água em seus vazios, com ou sem acréscimos de carga. Estes solos apresentam, em seus estados naturais, alta porosidade e baixo teor de umidade,

perdendo sua resistência com o aumento do teor de umidade e sofrendo um colapso, daí a designação de colapsível (MONACCI, 1995).

Já Milton Vargas, diz que um solo pode ser classificado como expansivo, não só com base na sua composição (mínimo de 18% de argilas em peso e índice de plasticidade superior a 22), mas também na sua massa específica seca. Pois, um solo expansivo pode ser colapsível quando sua densidade específica seca for alta, ou expansivo, quando a massa específica for baixa (CINTRA & ALBIERO, 1993)

Em TERZAGHI e PECK (1967) encontramos a descrição do Sistema Unificado de Classificação de Solos, adotado em 1952 pelo U.S. Corps of Engineers e pelo Bureau of Reclamation, em resposta à pluricidade e à insatisfatoriedade, dos diferentes métodos que estavam em uso. Este sistema faz uso da granulometria e dos valores do limite de liquidez e plasticidade. Cada solo é representado por duas letras, um prefixo (ligado ao tipo de solo) e um sufixo (ligado às características granulométricas e à plasticidade).

3.4. Caracterização das propriedades dos solos

3.4.1. *Determinação da classe textural*

Esta determinação consiste na análise granulométrica, que tem por objetivo determinar as porcentagens das suas frações constituintes, nas diferentes dimensões das partículas de solo, em função de seus diâmetros relativos (KIEHL, 1979); sendo divididas em:

- pedregulho (76 a 4,8 mm);
- areia (4,8 a 0,05 mm);
- silte (0,05 a 0,005 mm); e
- argila (inferior a 0,005 mm).

3.4.2. *Propriedades mecânicas*

3.4.2.1. *Características de resistência à compressão*

A resistência à compressão do solo é dada pelos valores da Coesão (C) e do ângulo de atrito interno (ϕ), do solo (KIEHL, 1979).

Para obter os valores de C e ϕ , faz-se uso de ensaios de compressão triaxial, aplicando a teoria de ruptura do solo dada pela lei de Mohr-Coulomb, onde a ruptura das amostras ensaiadas dão origem aos círculos de Mohr, aos quais são associados a envoltória de Coulomb, obtendo-se

os valores de C e ϕ (Figura 10).

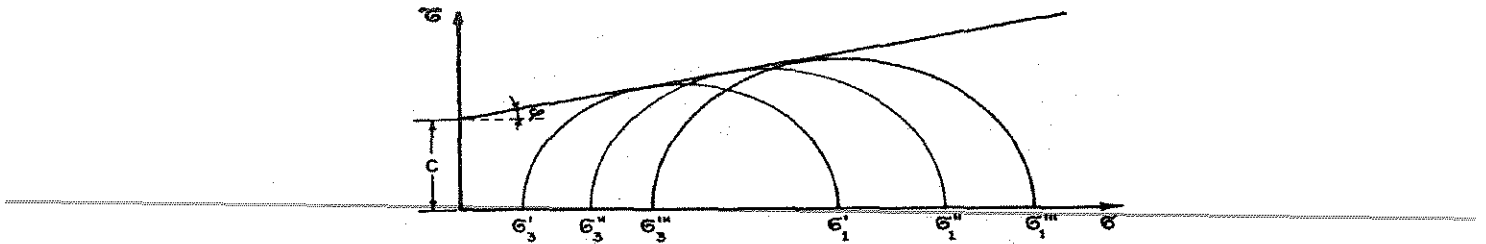


FIGURA 10: Círculo de Mohr aplicado ao ensaio Triaxial (CAPUTO, 1973).

A representação desta linha pode ser feita de duas maneiras (LAMBE et al., 1969):

1. associando-se a envoltória de Coulomb, como uma linha tangente, aos vários círculos de Mohr; método este, que passa a ser trabalhoso na existência de muitas envoltórias; e
2. método da linha K_f ; neste método, o resultado de cada ensaio de compressão é representado em um gráfico, na forma de P (ordenada do centro do círculo de Mohr, eixo X) e Q (raio do círculo de Mohr, eixo Y) e utilizando de ferramenta estatística de regressão, ajusta-se a melhor curva (reta na maioria dos casos) pela região de maior interesse, para obter os valores de C e ϕ .

Em STANFFORD et al. (1986) encontramos a descrição de três métodos estatísticos para se obter C e ϕ , os quais baseiam-se na aproximação da envoltória de Coulomb a uma reta, o que é válido para faixas restritas da pressão de confinamento. Presume-se que o erro na obtenção dos valores de C e ϕ tenha uma fonte majoritária, de forma que procura identificar três destas

possíveis fontes e, com uso de ferramentas estatísticas, mitigar a influência de cada erro nos valores finais:

1. erro tipo 1 - procura minimizar a soma dos quadrados das distâncias da envoltória às paralelas de tangência aos círculos de Mohr, equivalente ao método da linha Kf;

2. erro tipo 2 - procura minimizar a soma dos quadrados dos erros de τ_1 e τ_3 ; e
3. erro tipo 3 - assume que τ_3 é correto e minimiza o erro de τ_1 .

3.4.2.2. Características de adensamento

O ensaio de adensamento tem por objetivo a determinação das características do solo ligadas ao recalque provocado pelo adensamento (KIEHL, 1979).

O ensaio, introduzido por Terzaghi, comprime uma amostra, de pequena altura em relação ao diâmetro, confinada lateralmente por um anel rígido, colocada entre dois discos porosos.

O anel rígido procura reproduzir no laboratório, o que ocorre na natureza, onde a deformação lateral da massa de solo solicitada pela obra, é impedida pelo restante do maciço terroso que a envolve. O atrito entre a amostra e o anel é uma das fontes de erro, daí a utilização de pequenas alturas para este ensaio.

Com as deformações obtidas em função da pressão aplicada sobre a amostra e o índice de vazios iniciais, calcula-se o índices de vazios para cada estágio do carregamento, dado pela

relação entre a altura inicial da amostra e a altura reduzida da mesma. De posse destes pares, traça-se uma curva em papel semi-logarítmico (Figura 11). Nesta curva, pode-se notar 2 partes distintas:

1. curva de recompressão - onde ocorre um retorno à condição de carga anterior do solo; e
2. reta de compressão virgem - onde há uma correspondência à compressão do material, superior à aquelas ocorridas em sua formação geológica.

A pressão de pré adensamento é a pressão limite da curva de recompressão, que corresponde ao estado de sollicitação a que esteve submetida anteriormente a camada de solo, determinada pelo processo gráfico de Casagrande (BUENO & VILAR, 1984).

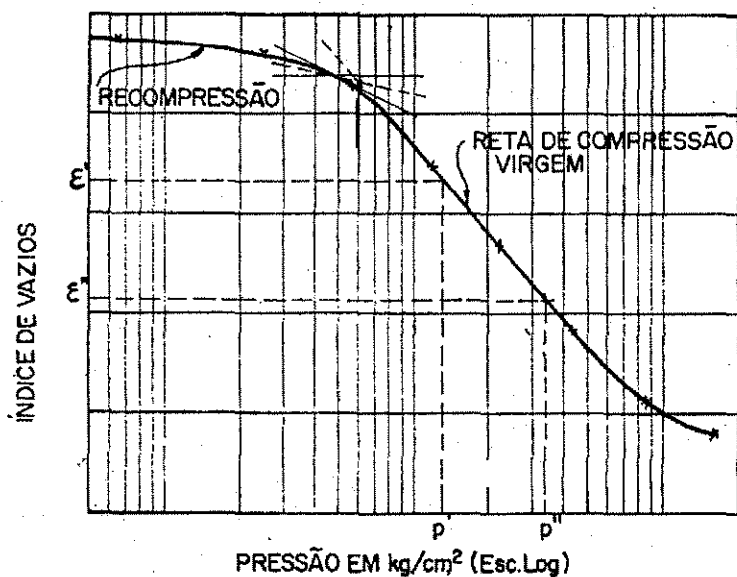


FIGURA 11: Ensaio de adensamento, mostrando as partes principais da curva e o ponto correspondente à pressão de pré adensamento (CAPUTO, 1973).

3.5. Avaliação de amostradores

No caso de estudos comparativos entre amostragens em bloco e por cravação de amostradores cilíndricos, LA ROCHELLE & LEFEBVRE (1971) usaram blocos cúbicos de 0,228 m de aresta, coletados pelo processo do Bloco de Parafina.

Como fator de comparação qualitativa, são citados os resultados obtidos através dos ensaios de Compressão Triaxial (LA ROCHELLE & LEFEBVRE, 1971), combinados com os resultados dos ensaios de Adensamento (LA ROCHELLE et al., 1981 e ROGERS & CARTER, 1987). Em MATHEUS (1995) para comparação qualitativa foram utilizados umidade e densidade do solo. HENDRICKX et al. (1995), no seu trabalho de análise de amostrador cravado por percussão, utilizaram também a umidade e densidade do solo como fatores comparativos, só que com uma quantidade significativamente maior de amostras (50), possibilitando um adequado tratamento estatístico para a análise dos resultados.

No trabalho de HVORSLEV (1949) são apresentadas e discutidas as várias fontes de alteração na qualidade da amostra: características do amostrador, do método de amostragem, particularidades dos diferentes solos, etc. Sempre lembrando que não existe amostra indeformada, mas sim ditas indeformadas, uma vez que ao ser retirada do maciço de solo em que estava, modifica-se o seu estado de tensões internas.

No caso da análise de índices físicos do solo, há variação destes parâmetros, não apenas de solo para solo, mas também na forma de uma apresentação heterogênea dentro da área de ocorrência (REICHARDT et al., 1986). Sendo assim, é necessário um suporte estatístico que

contemple esta forma de variação. ROGERS & CARTER (1987) fizeram uso do teste t, em quanto HENDRICKX (1991) utilizou o teste não paramétrico, em dados agrupados de Wilcoxon.

4. Projeto e Construção do Amostrador

4.1. Material e Método

4.1.1. Veículo

Para viabilizar o projeto do Amostrador de solos, o mesmo devia ser acoplado a um veículo pequeno o suficiente para ser transportado em uma caminhonete ou carreta de transporte comum. Desta forma, TEIXEIRA (1995) projetou e construiu um veículo (denominado VAS) com as seguintes especificações (Figura 12):

1. transmissão hidráulica proporcionada por dois motores orbitais TRW¹ MAB 24 (torque de 32.4 Nm/motor a 680 kPa e deslocamento volumétrico de 290 cm³/rev) montados em paralelo, de forma a funcionarem com efeito diferencial;
2. motor de combustão interna TECUMSHEH, como fonte de potência (14 CV a 3600 rpm);
3. bomba hidráulica de engrenagens Parker D17 AA2A, com deslocamento volumétrico de 6,6 cm³/rev;
4. freio a disco nas rodas de tração;
5. pneus 6-12 para rodas de tração e 3,5-10 para a roda direcional;
6. distância entre eixos de 1,14 m;

¹ A menção de marcas não constitui recomendações por parte do autor

7. bitola dianteira externa de 1,6 m;
 8. comprimento total de 1,9 m;
 9. altura de 1,38 m;
 10. raio de giro de 2,7m; e
-
11. capacidade de transporte para um operador.

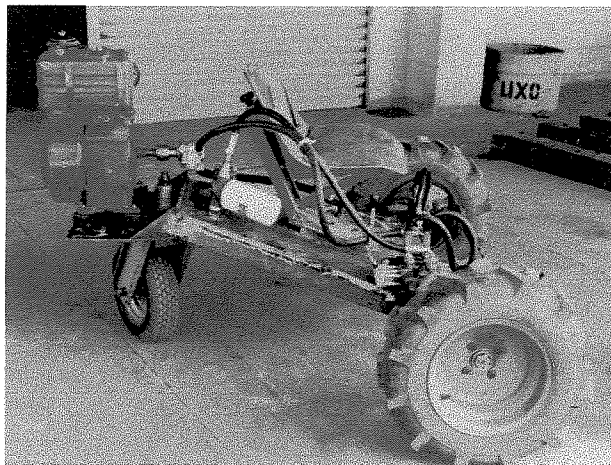


FIGURA 12: Veículo Amostrador de Solos (VAS) no início dos trabalhos de adaptação do amostrador.

4.1.2. Amostrador

O projeto do amostrador partiu do modelo proposto por BRAUNBECK (1986), que consiste de um processo misto de cravação combinado com escavação, na imediata periferia da borda de corte. Foram adotados os seguintes elementos para sua construção como disposto na Figura 13:

1. tubo amostrador de PVC com 75 mm de diâmetro interno, de modo a possibilitar

descarte de material periférico sem restringir o tamanho aproveitável da amostra, viabilizando ensaios específicos;

2. tubo cravador de alumínio com diâmetro externo de 82,5 mm e interno de 78,5 mm, capaz de suportar as pressões de cravação;

3. ponteira de cravação, elaborada em aço ABNT 1045, com conicidade interna de 1%, a partir da borda de corte. Encaixe cônico, no lado interno, para fixação do tubo de PVC;

4. rosca-sem-fim, soldada solidária a um tubo Schedule, com: passo de 85 mm, diâmetro externo de 140 mm e interno de 88,9 mm;

5. motor hidráulico TRW MAB 08 (torque de 10,8 N.m a 689 kPa e deslocamento volumétrico de 96.7 cm³/rev), com possibilidade de variação de velocidade de 10 a 240 rpm;

6. transmissão por correntes de rolos com redução de 23/28;

7. mancal de deslizamento com bucha de latão; e

8. chassi em chapa de aço ABNT 1020.

O tubo amostrador de PVC, tubo cravador em alumínio e ponteira de cravação, formam a parte estática do equipamento. As principais dimensões do amostrador podem se vistas na Figura

14.

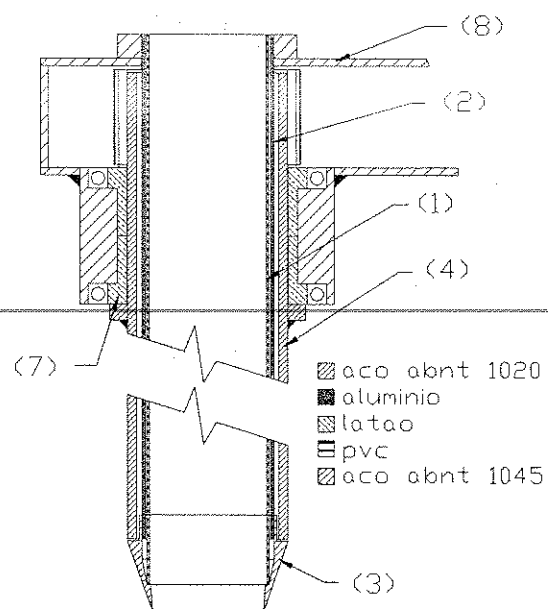


FIGURA 13: Principais elementos do amostrador.

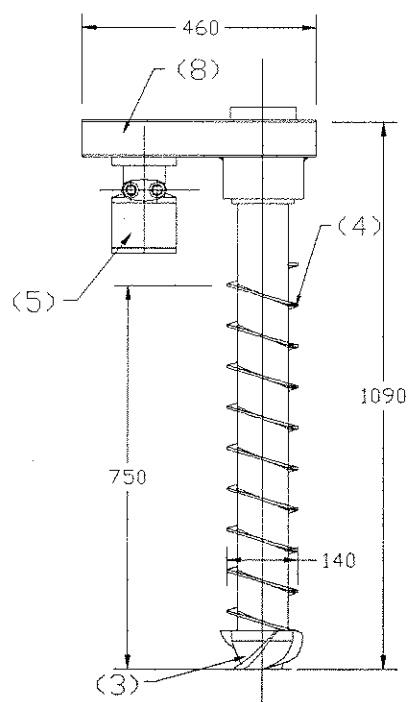


FIGURA 14: Amostrador com as principais medidas em mm.

4.1.3. Adaptação ao veículo

Para a adaptação do amostrador ao VAS, foi projetado um mecanismo de quatro barras com 900 mm de deslocamento vertical retilíneo, utilizando: as ferramentas de projeto do programa computacional Auto-CAD, um cilindro (com 520 mm de comprimento, quando retraído e 300 mm de curso), um braço articulado e um elemento deslizante (Figura 15).

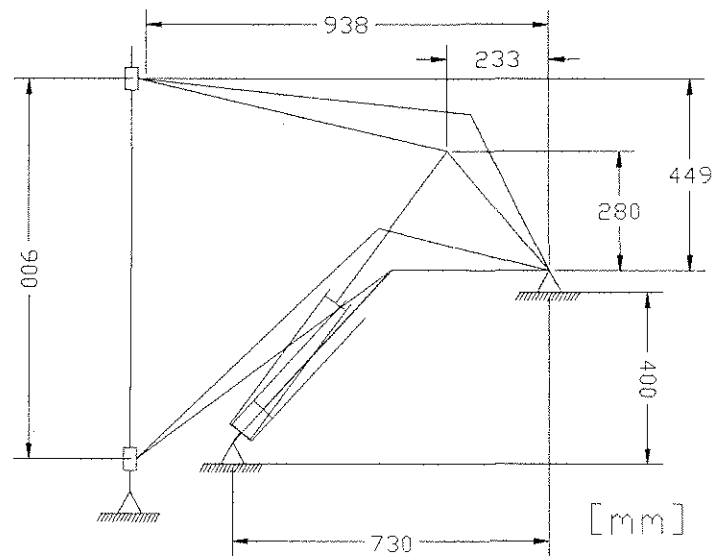


FIGURA 15: Desenho do mecanismo de 4 barras, para suporte do amostrador.

Foi colocada, em uma das saídas do cilindro, uma válvula reguladora de vazão, para controlar a velocidade do mecanismo.

4.1.4. Estabilidade, dirigibilidade e capacidade de tração

4.1.4.1. Verificação do CG.

A determinação do Centro de Gravidade (CG) do conjunto, já montado, foi feita pelo método da pesagem, que se baseia nas cargas aplicadas pelas rodas sobre a balança, estando o veículo em diferentes ângulos com a normal (BARGER, E. L. et al., 1976).

Para determinar a posição do CG, foi usada a equação 1, que determina o plano que contém o CG, Figura 15 (a). Se o eixo dianteiro for elevado à altura y_2 , determinando R_2' (Figura 16 (b)), pode-se obter outro plano, contendo o CG pela mesma equação 1. Na interseção destes planos, estará o CG.

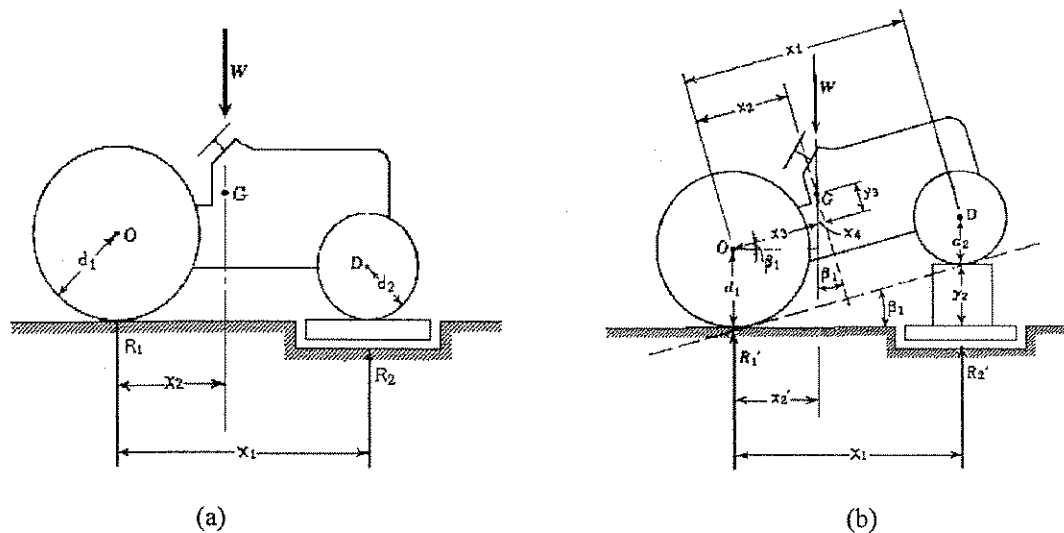


FIGURA 16: Aplicação do método da pesagem, na localização do CG (BARGER, E. L. et al. ; 1976).

$$x_2 = (R_2 x_1) / w \quad (1)$$

Onde:

x_2 = distância CG ao ponto de apoio da roda [m]

R_2 = carga sobre a balança [N]

x_1 = distância entre os pontos de apoio [m]

Destas duas situações de equilíbrio, são tiradas as outras duas coordenadas do CG utilizando-se as equações 2, 3 e 4 a seguir:

$$x_1' = (x_1 + (d_1 - d_2) \operatorname{tg} \beta_1) \cos \beta_1 \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \beta_1 \cong y_2 / x_1' \quad (3)$$

$$y_3 = (x_2 - (x_2' / \cos \beta_1)) / \operatorname{tg} \beta_1 \quad (4)$$

4.1.4.2. Estabilidade lateral

Para a determinação da posição de equilíbrio estático, no caso específico de veículos triciclo, foi calculado o ângulo limite de tombamento lateral, caracterizado quando a somatória dos momentos influenciáveis no tombamento do veículo em relação ao ponto de contato solo-pneu é nula (MIALHE, 1980).

Este ângulo limite de tombamento α foi determinado com o uso das equações 5 e 6.

$$\operatorname{Tg} \beta = (((4y^2 + b^2) / (bx / l)^2) - 1)^{0,5} \quad (5)$$

$$\operatorname{Tg} \alpha = (b | \operatorname{tg} \beta | - 2y) / (2y | \operatorname{tg} \beta | + b) \quad (6)$$

Onde:

α = inclinação do plano de apoio no limiar do tombamento [graus]

y = altura do centro de gravidade (CG) [m]

x = menor distância CG, eixo de tração [m]

b = bitola central do trator [m]

l = distância entre eixos [m]

4.1.4.3. Capacidade de aclave

Para determinar a capacidade de aclave do veículo, foram utilizadas as equações descritas por GEE-CLOGH (1980), onde a Capacidade de Tração e o Índice de Mobilidade, são obtidos pelas equações 7 e 8.

$$M = ((C \cdot b \cdot d) / (N)) * (1 / (1 + b / (2d))) * (D_p / h)^{0,5} \quad (7)$$

$$C_t = C_{tmax} (1 - E^{(-ks)}) = Cap / (N \cdot n) \quad (8)$$

Onde:

N = carga aplicada sobre o pneu [N]

C = índice de cone (800 kPa para Latossolo roxo)

b = largura da área de contato [m]

d = diâmetro da roda [m]

D_p = deflexão do pneu [m]

C_t = coeficiente de tração

$C_{tmax} = (0,796 - (0,92 / M))$

$k = (4,838 + 0,61M) / C_{tmax}$

s = patinagem

n = número de rodas de tração

Cap = capacidade de tração do veículo [N]

4.2. Etapas de desenvolvimento

4.2.1. Dispositivo de cravação

O amostrador sofreu alterações significativas durante o seu processo de desenvolvimento. Entre elas, as de maior relevância são apresentadas a seguir:

- reformulação das lâminas de corte. O dispositivo de corte da rosca-sem-fim, originalmente, contava com 2 lâminas, com ângulo de ataque de 15 graus (Figuras 17 e 19). Isto causava, no momento da cravação, instabilidade do dispositivo, induzindo à vibrações indesejáveis no sistema, podendo causar alterações estruturais no solo amostrado.

Após alguns estudos e testes laboratoriais, optou-se por uma configuração com 3 lâminas de corte, com ângulo de ataque de 27 graus (Figura 18 e 20), o que possibilitou

melhor estabilidade ao conjunto, durante a cravação.

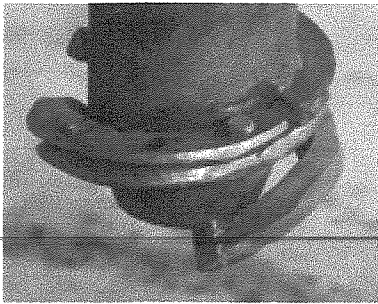


FIGURA 17: Posição das lâminas de corte.

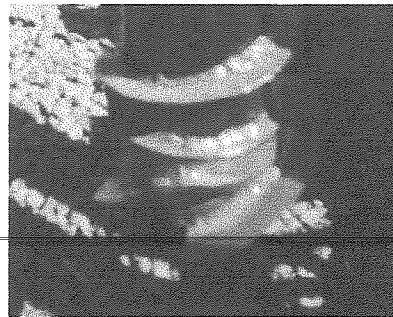


FIGURA 18: Reformulação das lâminas de corte.

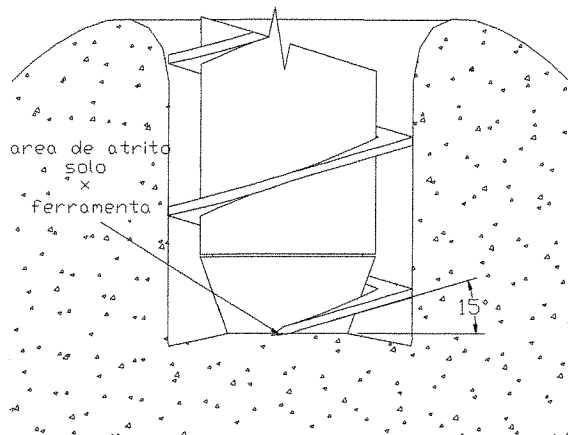


FIGURA 19: Desenho esquemático da posição de trabalho das 2 lâminas.

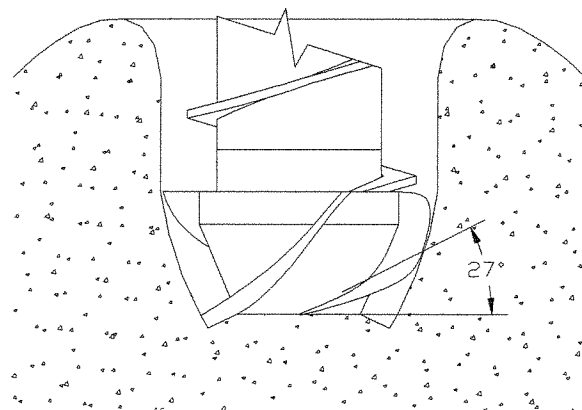


FIGURA 20: Desenho esquemático da posição de trabalho das 3 lâminas.

- alteração do desenho da ponteira de cravação e sistema de fixação do tubo (Figuras 21 e 22).

Foi verificado, durante os ensaio preliminares, que a geometria dificultava a fixação do tubo amostrador na porção inferior do tubo cravador, devido ao acúmulo de material. A solução encontrada, foi a substituição do rebaixo interno por um encaixe cônico para a parede externa do tubo de PVC.

A parede interna apresentava uma área de elevado atrito, retendo uma parcela da amostra a cada amostragem, que foi sanado, pela diminuição da sua altura.

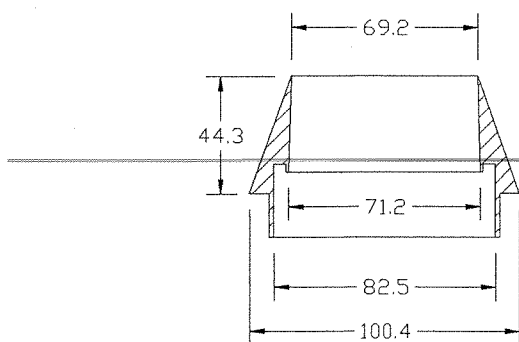


FIGURA 21: Corte da ponteira original de cravação (medidas em mm).

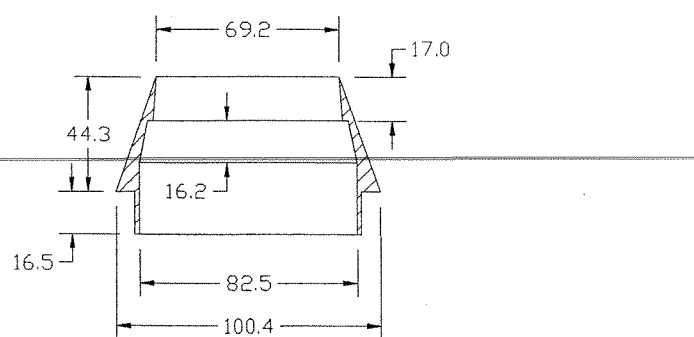


FIGURA 22: Corte da nova ponteira de cravação. (medidas em mm).

- Instalação de uma válvula de retenção no tubo de PVC.

Durante os ensaios iniciais ocorreu que, no momento da retirada do tubo amostrador de PVC, com a amostra, do interior do tubo cravador, esta desprendia-se do tubo amostrador, permanecendo dentro do tubo cravador. Para sanar este problema, foi colocada uma válvula de retenção (à vácuo), para que a amostra permanecesse no interior do tubo amostrador.

4.2.2. Adaptação ao veículo

A velocidade de cravação do amostrador não é controlada pelo cilindro hidráulico e sim pela rotação da rosca-sem-fim, com exceção dos casos onde a resistência à penetração é elevada (impedindo a continuidade da amostragem), e onde a capacidade de carga do solo é inferior ao peso do equipamento (levando a uma velocidade elevada de cravação e conseqüente

embuchamento das lâminas de corte).

4.2.3. Sacador

Para a retirada das amostras do interior do tubo amostrador de PVC, respeitando o sentido de movimentação da amostra de solo, foi projetado e construído um dispositivo.

Este dispositivo é constituído de um conjunto de êmbolos, impulsionados por uma rosca, montada em uma guia onde é fixado o tubo amostrador. O conjunto, com seus componentes, pode ser visto na Figura 23 e em uso, na Figura 24, com a amostra sendo retirada do tubo amostrador.

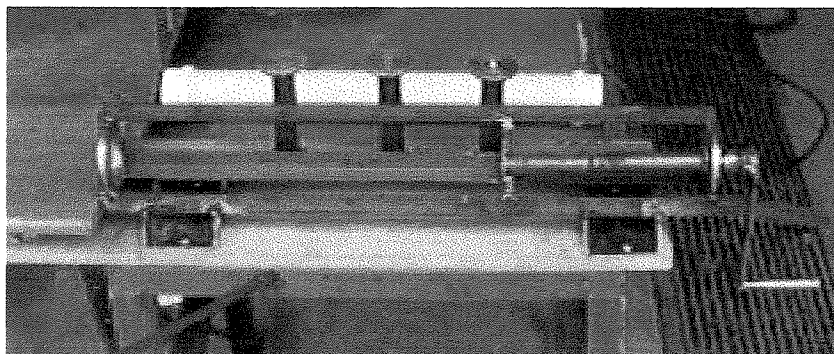


FIGURA 23: Sacador com êmbolos utilizado para retirar as amostras do interior do tubo amostrador.

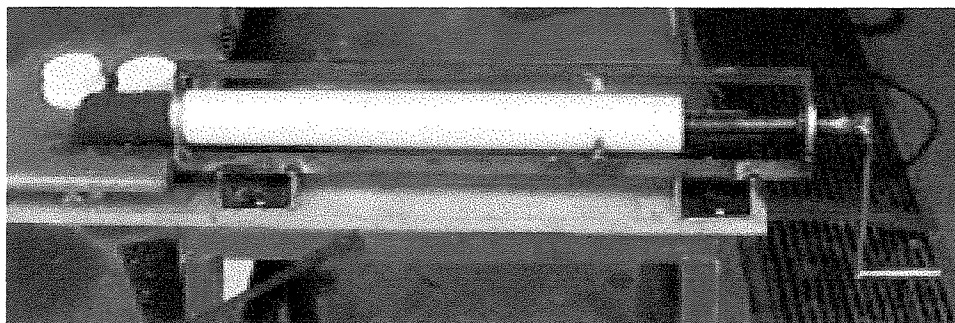


FIGURA 24: Amostra de solo sendo retirada.

4.2.4. Características dinâmicas do conjunto

O conjunto final: veículo e amostrador, é apresentado na figura 25, com suas principais dimensões.

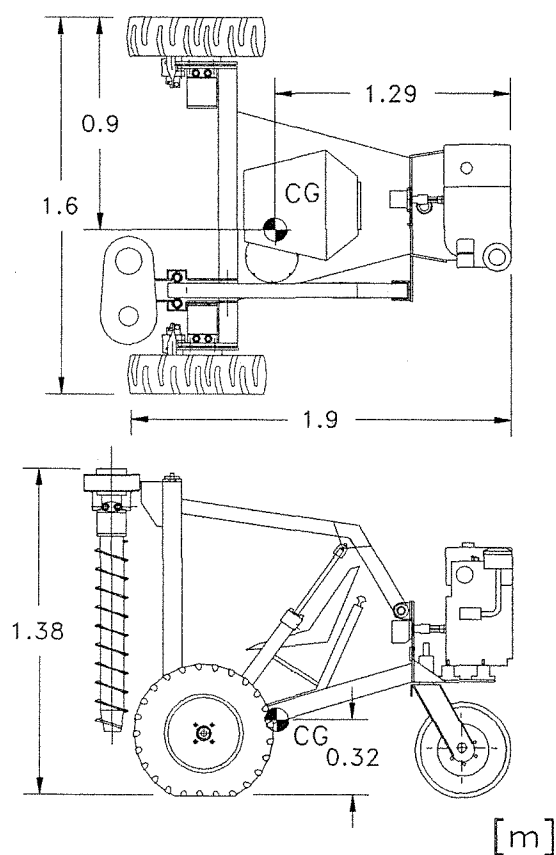


FIGURA 25: Desenho esquemático, com as principais dimensões e localização do CG.

O CG do conjunto foi localizado a 0,7 m da roda de tração direita, a 0,32 m de altura do solo e a 1,29 m de distância do motor de combustão (Figura 25).

Como resultado desta distribuição de massa, o ângulo limite de tombamento (sem o

operador) calculado é de 41° , o que significa que o veículo não pode se deslocar em locais com inclinação superior a esta (dados no Anexo 1). O peso total do VAS, com lastro, sem operador, é de 4613 N.

Utilizando as equações de Capacidade de Tração do Veículo (Cap) chegou-se à capacidade de subir planos de 15 graus, já incluindo o lastro de 18 kg adicionado ao eixo de tração

4.3. Configuração final

O conjunto veículo amostrador é apresentado nas Figuras 26 e 27.

4.4. Conclusões

O equipamento proposto foi projetado, construído e adaptado ao VAS e corresponde às expectativas de uso a que se propunha no início dos trabalhos, mostrando-se: ágil, leve, de pequenas dimensões, fácil transporte e apto a coletar amostras a até 0,60 m de profundidade.

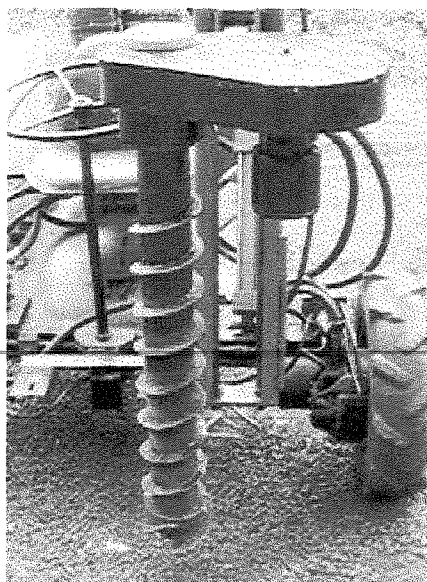


FIGURA 26: Conjunto montado do amostrador.

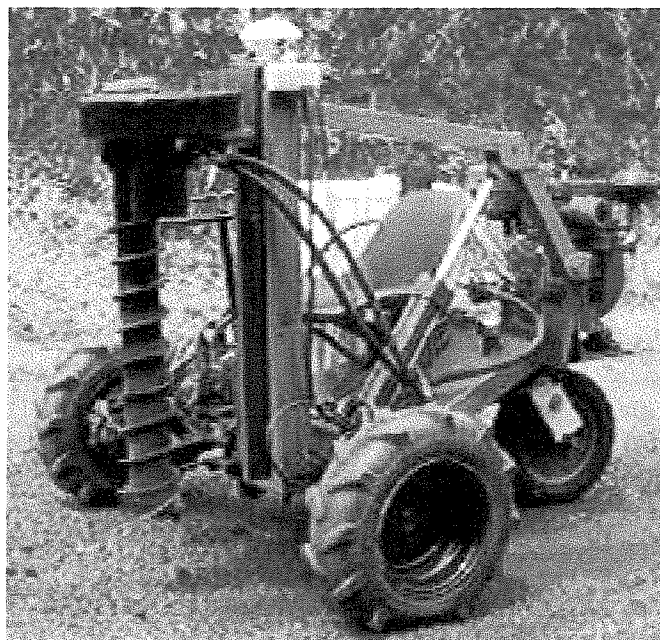


FIGURA 27: Amostrador adaptado ao VAS.

5. Avaliação da qualidade das amostras

5.1. Material e Método

As amostras obtidas com o VAS foram avaliadas quanto a indeformabilidade. Para tanto, foram realizados alguns testes comparativos, utilizando sempre como testemunhas, amostras colhidas pelos métodos do Bloco de Parafina e no caso de densidade do solo, o método do anel volumétrico.

5.1.1. Local

As amostras de solo foram coletadas dentro da área do Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola, localizado no Campus da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), no município de Campinas - SP, na porção Centro-Leste do Estado de São Paulo, determinada pelas coordenadas 22°53'22" de latitude sul e 47°04'39" de longitude oeste. O solo da região é caracterizado como proveniente da decomposição da formação geológica Tubarão, potencialmente expansivo (alta a muita alta atividade expansiva pelo gráfico de Van der Merwe), quando compactado abaixo da umidade ótima (CINTRA & ALBIERO, 1993).

Em trabalho de identificação deste solo, MONACCI (1995) o caracterizou como um Latossolo Roxo, residual de diabásio - comum à região de Campinas - com alto índice de colapso, principalmente na camada inicial. Apresenta, ainda, uma estrutura altamente porosa, constituída por micro agregados que, unidos, formam agregados maiores, por vezes do tamanho

de silte e areia fina. Há presença bem definida de caulinita e gibsitita, muscovita e illita, em pequena quantidade. Na profundidade de 0,5 a 0,75 m, os seguintes índices físicos foram levantados:

1.composição de 64% de argila, 10% de silte, 20% de areia média e 6 % de areia fina;

2.limite de liquidez de 52, 10 e plasticidade 35,26;

3.densidade dos sólidos 3030 kg/m³;

4.resistência à compressão simples Rc 26,2 Kpa; e

5.índice de colapso, segundo VARGAS (1978), 4,97 %.

A área encontra-se gramada por um período superior a 3 anos.

5.1.2. Avaliação

O critério de avaliação da qualidade das amostras obtidas, foi feito em conformidade com os resultados obtidos nos seis itens abaixo relacionados:

1. inspeção visual, procurando verificar a presença de fissuras e camadas de acomodação ao longo da amostra;
2. variação de umidade;
3. variação da densidade global;
4. variação do estado de tensões internas do solo, caracterizado pelo ângulo de atrito interno e Coesão, levantado pelo ensaio de compressão triaxial rápido; e

5. variação nas características de recalque, caracterizado pelo ensaio de adensamento.

Alguns ensaios preliminares foram realizados, para verificar se a velocidade de rotação da rosca-sem-fim exerce influência significativa na qualidade da amostra.

Para a avaliação qualitativa, quando possível, foi aplicado o teste t de Student, procurando identificar diferenças estatísticas entre as amostras - testemunhas e as colhidas pelo VAS.

5.1.3. Ensaios

Para a avaliação dos itens escolhidos, foram utilizadas metodologias próprias, de acordo com a natureza de cada um. As metodologias utilizadas estão descritas, por itens, como se segue.

5.1.3.1. Determinação da classe textural (KIEHL, 1979)

A determinação da classe textural é feita com destorroamento, peneiramento e dispersão do material. A seguir, usa-se o método da pipeta, que é um método de sedimentação derivado da aplicação da equação de Stokes, que relaciona o diâmetro da partícula e sua velocidade de sedimentação em um meio líquido, de viscosidade e peso específico conhecidos.

Desta forma, uma amostra de solo de 0,10 kg, seca ao ar e destorroada é colocada em uma garrafa de Sthomann, acrescentando 50 cc de dispersante (0,010 kg de hexametáfosfato de

sódio para cada litro de água em solução de hidróxido de sódio 0,1 N). Esta mistura, depois agitada em aparelho de Wiegner a 40 rpm, de 14 a 16 horas, é passada por uma peneira de 0,053 mm e transferida para uma proveta calibrada de 500 cc que é completada com água destilada. A areia da peneira é transferida para um becker, que é seca em estufa a 105° C, para posterior separação em areia grossa e fina, respectivamente, em peneiras de 0,21 e 0,053 mm.

O material da proveta é agitado durante 30 segundos e, de acordo com o ajuste feito com base na equação de Stokes, executa-se a pipetagem de 10 cc em duas diferentes alturas: à 0,1 m para, obter-se a fração argila mais silte e à 0,05 m, para obter a fração argila. Estes materiais coletados, devem ser secos em estufa, para posterior pesagem.

5.1.3.2. Umidade

Para o cálculo do valor da umidade, na base úmida, a amostra coletada é pesada, levada à estufa a 110° C, por 24 h e, após este período, novamente pesada. O valor da umidade é calculado substituindo-se os valores na equação 9.

$$U = ((M_u - M_s) / M_u) * 100 \quad (9)$$

Onde:

U = umidade base úmida [%]

M_u = massa da amostra úmida [kg]

M_s = massa da amostra seca [kg]

5.1.3.3.Densidade Global

Para a determinação dos valores de peso seco e volume do solo ao natural, são usados duas metodologias distintas:

1. método do anel volumétrico. É cravado, com uso de pancadas, um anel de aço, conhecido por anel de Kopeck, de bordas cortantes medindo 45 mm de altura e diâmetro interno de 53 mm. Após a cravação, este é removido, e o excesso de solo desbastado, com auxílio de uma lâmina até se igualar às bocas do anel. Desta forma, é obtida uma amostra de solo de volume conhecido, que é retirada o solo do interior do anel e levada para a estufa onde, posteriormente, será pesada. O valor da densidade global do solo, é calculada através do uso da equação 10. Este método não é recomendado para solos com excesso de cascalho, por dificultar a cravação do anel, nem para solos muito secos, que se desfazem ou para solos muito úmidos, que se compactam; e
2. método do torrão impermeabilizado ou da parafina. A determinação é feita a partir da coleta de um torrão de 0,03 m de diâmetro, que é pesado, seco em estufa, pesado novamente, impermeabilizado com parafina, pesado ao ar e imerso em água. O valor da densidade do solo é calculado através da equação 11 . Este método aplica-se , principalmente, para conglomerados de solo onde não é possível cravar o anel volumétrico.

$$D_s = M_{ss} / V_s \quad (10)$$

Onde:

D_s = densidade do solo [kg/m^3]

M_{ss} = massa de solo seca em estufa a 110°C por 24 h [kg]

V_s = volume do solo [m^3]

$$D_s = (M_{ss} D_a) / ((M_{ss} + M_p - M_i) - (M_p D_a) / D_p) \quad (11)$$

Onde:

D_s = densidade do solo [kg/m^3]

M_{ss} = massa seca de solo [kg]

D_a = densidade da água [kg/m^3]

M_p = massa de parafina [kg]

M_i = massa do torrão impermeabilizado de solo, imerso [kg]

D_p = densidade da parafina [kg/m^3]

5.1.3.4. Teste de compressão triaxial

Para a caracterização do comportamento mecânico da amostra, foi feito o ensaio de

compressão triaxial, em aparelho similar ao esquematizado na Figura 28, constituído por uma câmara cilíndrica de parede transparente, no interior da qual foi colocada a amostra, envolvida por uma membrana de borracha muito delgada. A base superior do cilindro é atravessada por um pistão, que por intermédio de uma placa rígida, aplica uma pressão à amostra - pressão axial e principal (τ_1). A câmara cilíndrica é cheia de líquido, que é submetido a uma pressão de confinamento (τ_3). Como resultado do ensaio foram obtidas as curvas de tensão x deformação.

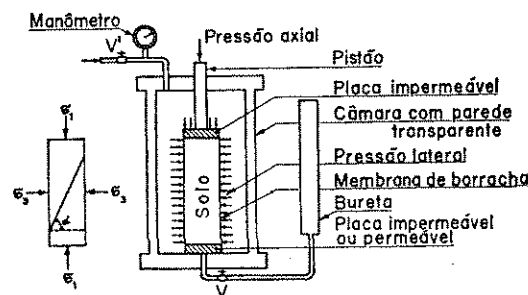


FIGURA 28: Aparato para ensaio Triaxial (CAPUTO, 1973)

Os ensaios, foram realizados nas seguintes condições:

1. divisão do perfil em duas camadas - 0 a 0,3 m e 0,3 a 0,6m;
2. ensaio rápido (velocidade de compressão da amostra de $8,33 \cdot 10^{-5}$ m/s); e
3. pressões de confinamento nos valores de 49,05; 98,1 e 196,2 kN/m².

O cálculo dos valores de C e ϕ , obedeceu à metodologia proposta por STANFFORD, AUDSLEY e SHAP (1986), assumindo a ocorrência de erro do tipo 1, com uso das equações 12 a 22.

$$x = (\tau_1 + \tau_3) / 2 \quad (12)$$

$$y = \pm (\tau_1 - \tau_3) / 2 \quad (13)$$

$$r = (1/n) \sum \tau_1 \tau_3 - \tau_1 \tau_3 \quad (14)$$

$$V_1 = (1/n) \sum (\tau_1 - \tau_1)^2 \quad (15)$$

$$V_3 = (1/n) \sum (\tau_3 - \tau_3)^2 \quad (16)$$

$$V_{13} = (1/n) \sum (\tau_1 + \tau_3 - \tau_1 - \tau_3)^2 \quad (17)$$

$$d = V_1 - V_3 \quad (18)$$

$$a = ((V_{13} + d) / (V_{13} - d))^{0,5} \quad (19)$$

$$C = -(1/2) (\tau_3 a - \tau_1 / a) \quad (20)$$

$$m = \pm d / (V_{13}^2 - d^2)^{0,5} \quad (21)$$

$$E = \sum (((\tau_1 - \tau_3) / 2) - (1 / ((m^2 + 1)^{0,5})) (c + m ((\tau_1 + \tau_3) / 2)))^2 \quad (22)$$

Onde:

$$x = P \text{ [N/m}^2\text{]}$$

$y = Q$, positiva se τ_1 estiver entre 0 e $+ 45^\circ$ da vertical e negativa se τ_1 estiver menos de 45° da horizontal $[N/m^2]$

τ_1 = máxima pressão principal $[N/m^2]$

τ_3 = pressão de confinamento $[N/m^2]$

τ_1 = média das máximas pressões principais $[N/m^2]$

τ_3 = média das pressões de confinamento $[N/m^2]$

r, V_1, V_3, V_{13}, d e a = variáveis auxiliares de cálculo

C = valor da coesão $[N/m^2]$

m = Tangente de ϕ

E = variância estimada no valor de C $[(N/m^2)^2]$

5.1.3.5. Ensaio de adensamento

Para determinar as características de recalque da amostra, foi realizado o ensaio de adensamento. O aparelho utilizado para a realização do ensaio, denominado *edômetro*, aplica o princípio, introduzido por Terzaghi, de compressão de uma amostra, de pequena altura em relação ao diâmetro, confinada lateralmente por um anel rígido e colocada entre dois discos porosos, conforme esquema da Figura 29.

A carga é aplicada sobre a pedra porosa superior por meio de um disco metálico rígido, e a compressão é medida com auxílio de um estenciômetro. A realização do ensaio se dá através da aplicação de cargas verticais, que vão sendo gradualmente aumentadas, segundo uma progressão geométrica de razão igual a 2, permanecendo 24 horas em cada estágio de aplicação de carga.

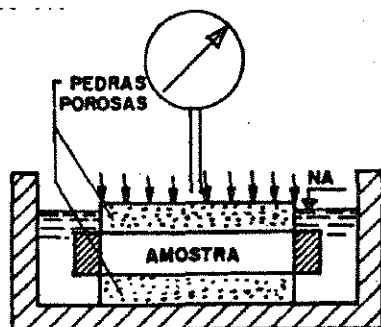


FIGURA 29: Ensaio de Adensamento (CAPUTO, 1973).

Os ensaios foram realizados com uso de consolidômetro de anel fixo, medindo 0,05 m de diâmetro e 0,02 m de altura, de drenagem dupla. Os carregamentos utilizados, foram: 19,6; 39,2; 78,5; 157,0 e 313,9 kN/m².

O índices de vazios (e), foram calculados pela equação 23:

$$e = (h_1 / h_s) - 1 \quad (23)$$

Onde:

e = índices de vazios

h₁ = altura inicial da amostra [m]

h_s = altura reduzida da amostra [m]

Desta forma, obteve-se pares P (pressão aplicada sobre a amostra [N/m²]) e e (Índice de

vazios). De posse destes pares, foi traçada uma curva em escala semi-logarítmica. As curvas obtidas, traçadas em papel semi-logarítmico (Figura 30), foram comparadas para verificar se apresentavam o mesmo comportamento. Procurou-se notar 2 partes distintas:

1. curva de recompressão - retorno à condição de carga anterior do solo; e
2. reta de compressão virgem - onde há uma correspondência à compressão do material, superior à aquelas ocorridas em sua formação geológica.

A Pressão de Pré Adensamento é a pressão limite da curva de recompressão, o que corresponde ao estado de solicitação a que esteve submetida anteriormente a camada de solo, determinada pelo processo gráfico de Casagrande.

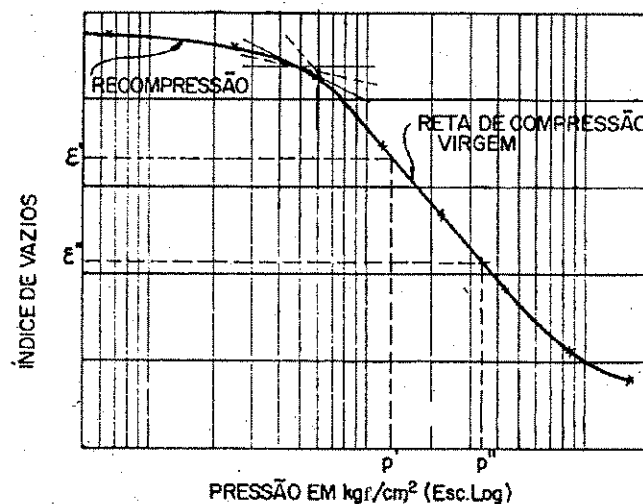


FIGURA 30: Gráfico obtido com os resultados do ensaio de adensamento, mostrando as partes principais da curva e o ponto correspondente à pressão de pré adensamento (CAPUTO, 1973).

5.2. Resultados e Discussão

5.2.1. Caracterização do solo

Aplicando o ensaio de determinação da classe textural, chegou-se à seguinte distribuição, em peso, das diferentes frações do solo em estudo:

1. areia total = 19 % (fina = 9 %);
2. silte total = 12 % (grosso = 11%); e
3. argila = 58%.

Caracterizando um solo argiloso, de acordo com os critérios da Sociedade Brasileira de Ciência do solo, em acordo com os resultados apresentados por MONACCI (1995).

5.3. Avaliação

5.3.1. Ensaio preliminar: densidade global

Os valores de densidade global obtidos pelo método do anel volumétrico, aplicados em amostras indeformadas e coletadas pelo VAS, são apresentados na Tabela 1, compondo o perfil de densidade, mostrado na Figura 31.

TABELA 1: Valores de densidade, pelo método do anel volumétrico, em amostras: ideformada e colhidas pelo VAS.

prof. [10 ⁻² m]	faixa	densidade [kg/m ³]							
		anel		250 rpm		300 rpm		350 rpm	
		média	Desv. Pad	média	Desv. Pad	média	Desv. Pad	média	Desv. Pad
0 - 10	A	1406,8	71,8	1398,74	50,71	1353,11	41,92	1385,51	24,66
10 - 20	B	1377,2	50,0	1385,99	22,51	1419,57	55,56	1356,72	35,05
20 - 30	C	1394,5	15,7	1372,19	22,08	1379,49	17,87	1319,09	39,45
30 - 40	D	1369,8	26,2	1387,93	34,02	1321,91	24,09	1304,50	37,55
40 - 50	E	1331,7	37,9	1389,03	131,45	1345,20	36,78	1294,30	10,87
50 - 60	F	1251,3	58,8	1207,59	-	1374,65	23,12	1319,48	-

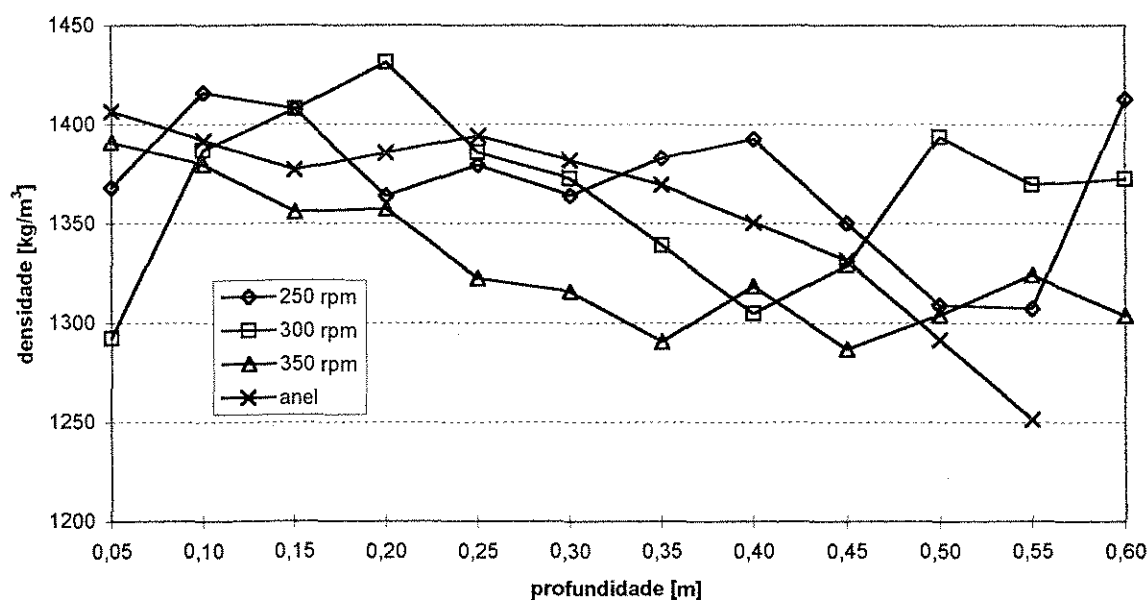


FIGURA 31: Perfil comparativo de densidade, obtida pelo método do anel volumétrico em amostras: ideformada e colhidas pelo VAS.

Com relação à umidade, os dados obtidos são apresentados na Tabela 2 e Figura 32.

TABELA 2: Perfil de umidade obtido com o uso de amostras colhidas pelo VAS.

prof. [10^{-2} m]	umidade [%]			
	anel	VAS		
		1	2	3
5	21,48	21,79	22,31	21,59
10	21,63	21,94	22,18	21,06
15	21,77	21,93	22,04	21,42
20	22,14	22,36	22,20	21,98
25	22,51	22,26	22,48	21,98
30	22,62	22,37	22,89	22,16
35	22,73	22,88	23,15	22,21
40	22,77	23,21	23,25	22,48
45	22,80	23,37	23,48	22,61
50	23,02	23,09	23,50	22,88
55	23,24	23,17	23,45	22,89
60	23,24	23,05	22,89	22,53

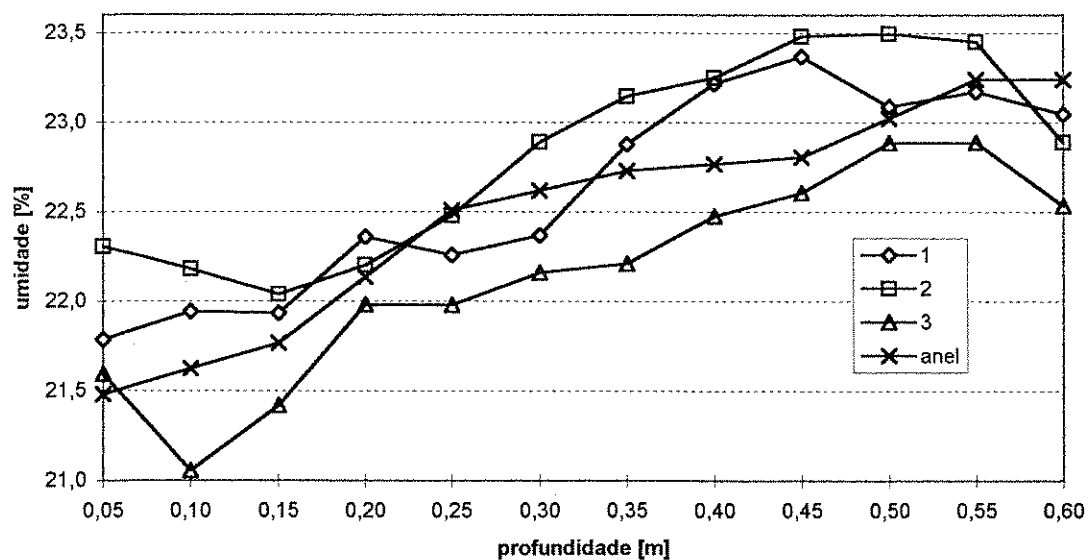


FIGURA 32: Perfil de umidade, obtido com o VAS e amostra indeformada.

Aplicando o teste t de Student entre os grupos de dados, anel x VAS em cada rotação, e

entre as diferentes rotações em combinação, observamos que: estatisticamente, em relação à densidade global, os quatro grupos não diferem a um nível de 5% de confiabilidade, embora houvesse um número reduzido de amostras, principalmente para a profundidade de 50 a 60 cm.

Todos os valores de densidade obtidos com o VAS são iguais entre si, independente da velocidade de rotação utilizada na coleta, bem como, são todos iguais ao padrão, coletado pelo método do anel volumétrico.

Os dados de campo, relativos a esta etapa do experimento, encontram-se no Anexo 2.

Durante a execução dos ensaios, foi notado uma excessiva aderência da amostra às paredes internas do tubo amostrador, principalmente em amostras de solo com teor de umidade superior a 22% (Figura 33). Como consequência desta adesão entre a amostra de solo e a parede do tubo, durante a retirada da amostra, ocorre uma compactação desta e uma redução do seu comprimento inicial, de até 18 % (Figura 35), fazendo com que a amostra perca suas características iniciais.

Entre as soluções possíveis para o problema, a saber:

1. colocação do tubo amostrador em estufa, para retirada posterior da amostra;
2. alteração do material do tubo amostrador;
3. corte do tubo amostrador em seções de menor comprimento, para diminuir a área de atrito;
4. corte na lateral do tubo, para poder expandir o diâmetro, no momento da retirada;
5. reformulação parcial do sacador; e

6. uso de um material lubrificante na parede interna do tubo para evitar a aderência do material e diminuir o atrito.

Algumas destas propostas foram testadas (colocação do tubo em estufa, corte lateral e uso de material lubrificante) e a que apresentou melhor resultado foi a lubrificação da parede interna do tubo de PVC com óleo SAE 30.

Quando foram iniciados os trabalhos à campo, não havia previsão deste atrito entre a amostra e a parede do tubo de PVC. Isto ficou evidente, não só pelos elevados valores de densidade observados nas profundidades de 0,45 a 0,60 (em especial para a velocidade de 350 rpm), mas também pela força necessária para retirar a amostra do tubo. O esforço longitudinal levou a um aumento diametral, forçando a amostra na parede e comprometendo sua qualidade.

Outro fato que chamou atenção, em solo com umidade acima de 23%, foi uma tendência à formação de um aglutinado de solo, plasticamente aderido às lâminas de corte, formando uma massa compacta que desbalanceava as lâminas de corte do amostrador, também comprometendo a qualidade da amostra.

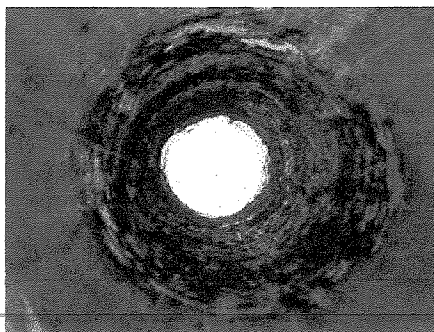


FIGURA 33: Interior do tubo, sem óleo , após retirada da amostra.

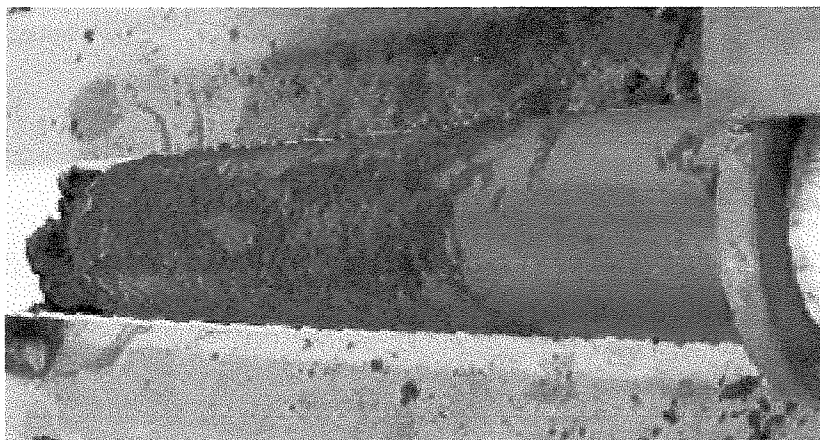


FIGURA 34: A amostra de solo comprimida na retirada do tubo amostrador.

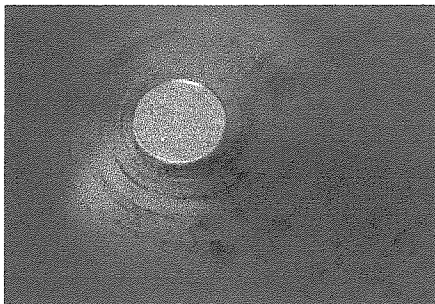


FIGURA 35: Interior do tubo, com óleo , após retirada da amostra.

Os resultados dos ensaios comparativos do tubo com e sem lubrificação são mostrados na Tabela 3 e na Figura 36. A Figura 35 ilustra a condição final do tubo lubrificado, após a retirada da amostra.

TABELA 3: Valores de densidade pelo método do anel volumétrico, em amostras: ideformada e colhidas pelo VAS, a 300 rpm, sem e com o uso de óleo SAE 30.

prof. [10^{-2} m]	faixa	densidade [kg/m^3]					
		VAS 300 rpm		VAS c/ óleo a 300 rpm		anel	
		média	Desv. Pad	média	Desv. Pad	média	Desv. Pad
0 - 10	A	1353,11	41,92	1362,33	109,19	1406,8	71,76
10 - 20	B	1419,57	55,56	1374,62	73,46	1377,2	50,0
20 - 30	C	1379,49	17,87	1332,02	401,52	1394,5	15,71
30 - 40	D	1321,91	24,09	1292,44	82,73	1369,8	26,21
40 - 50	E	1345,20	36,78	1276,03	47,80	1331,7	37,91
50 - 60	F	1374,65	23,12	1170,47	393,13	1251,3	58,75

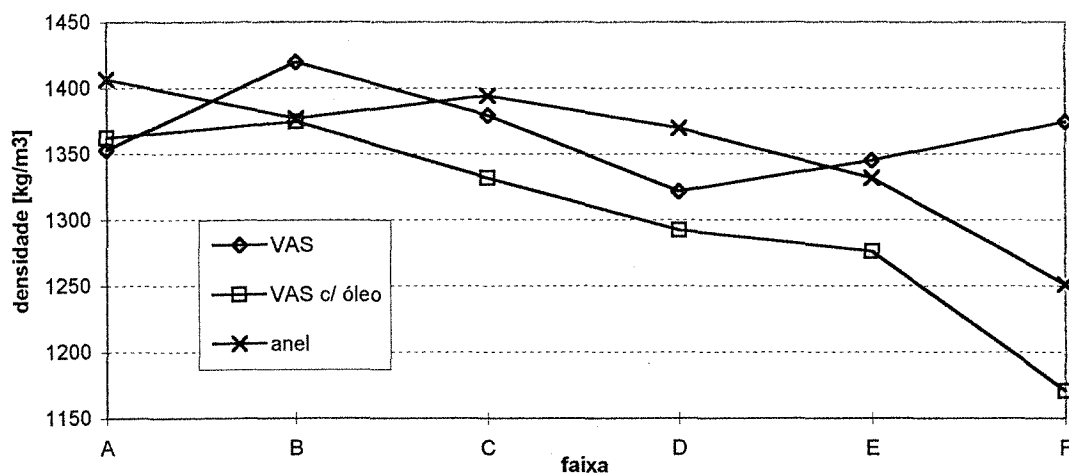


FIGURA 36: Valores de densidade pelo método do anel volumétrico, em amostras: ideformada e colhidas pelo VAS com uso de óleo SAE 30 a 300 rpm.

Os resultados dos ensaios comparativos, pelo método do anel volumétrico x amostras colhidas com o VAS, com lubrificação por filme de óleo, nas três velocidades angulares, são mostrados na Tabela 4 e na Figura 37.

TABELA 4: Valores de densidade pelo método do anel volumétrico, em amostras: ideformada e colhidas pelo VAS com uso de óleo SAE 30, nas três rotações.

prof. [10 ⁻² m]	faixa	densidade [kg/m ³]							
		testemunha		VAS pelo met. Anel					
		met. anel		250 rpm		300 rpm		350 rpm	
		média	Desv. Pad	média	Desv. Pad	média	Desv. Pad	média	Desv. Pad
0 - 10	A	1406,83	71,76	1429,17	22,26	1341,50	79,55	1482,90	71,78
10 - 20	B	1377,17	49,98	1425,32	30,19	1448,54	39,86	1438,94	5,69
20 - 30	C	1394,53	15,71	1366,22	28,28	1352,01	49,64	1373,53	21,35
30 - 40	D	1369,75	26,21	1287,26	18,90	1309,24	47,16	1338,37	36,02
40 - 50	E	1331,66	37,91	1320,80	13,05	1310,60	24,70	1291,27	37,62
50 - 60	F	1251,27	58,75	1143,08	294,82	1311,42	149,18	1171,67	57,59

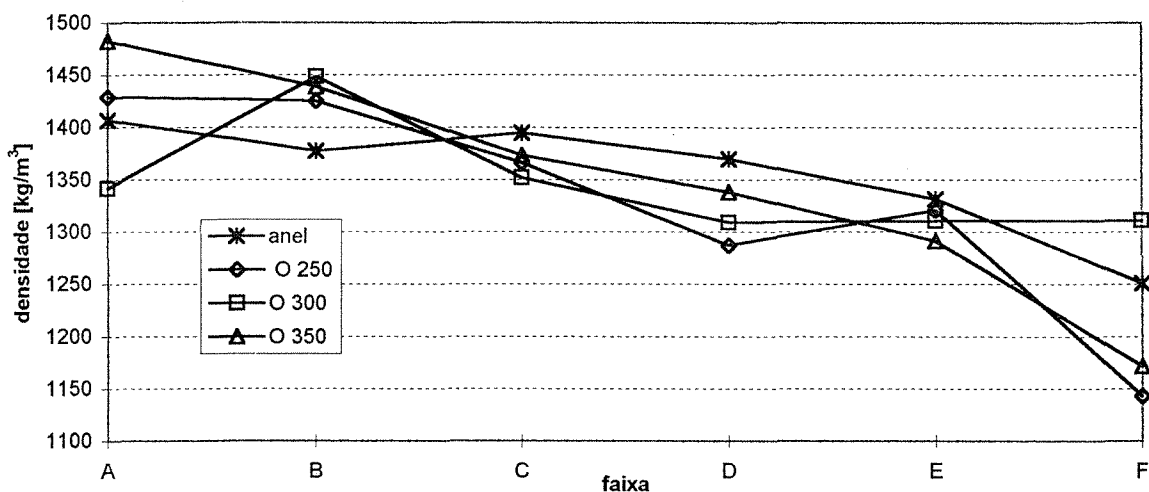


FIGURA 37: Valores de densidade pelo método do anel volumétrico, em amostras: ideformada e colhidas pelo VAS com uso de óleo SAE 30, nas três rotações.

Comparando-se os resultados da etapa anterior (Tabela 1 e Figura 31) com estes, nota-se que os desvios diminuíram, com especial relevância para as profundidades de 0,45 a 0,69 m. Aplicando o teste t de Student entre os grupos de dados, anel x VAS em cada rotação e entre as diferentes rotações em combinação, concluímos que: estatisticamente, em relação à densidade, os quatro grupos não diferem a um nível de 5% de confiabilidade.

Os dados referentes a esta etapa dos trabalhos, encontram-se no Anexo 3.

No desenvolvimento dos trabalhos, notou-se que o uso do óleo, não só diminuiu o atrito amostra x parede, durante a amostragem (reduzindo a força de compressão sobre a amostra no momento da cravação), como facilitou a retirada da amostra do interior do tubo.

5.3.2. Densidade global: método da parafina

Para obtenção da densidade global, o método da parafina é o mais sensível, pois o método do anel volumétrico, muitas vezes, leva a uma compactação da amostra de solo no momento da sua cravação pois, nem sempre, o atrito amostra x parede do anel, durante a cravação, é desprezível.

Assim, para determinar valores de densidade global que pudessem ser comparados aos do método anterior, foi utilizado o método da parafina; tanto para a amostra indeformada, quanto para as colhidas pelo VAS.

Com base nos ensaios anteriores, todas as amostras colhidas pelo VAS, passaram a ser obtidas com o uso de uma camada de óleo SAE 30 na parede interna.

Os valores de densidade global obtidos pelo método do anel volumétrico, aplicados na amostra indeformada e os da parafina, aplicados na amostra colhida pelo VAS e na indeformada, são apresentados nas Tabela 5 e 6 e na Figura 38.

TABELA 5: Perfil comparativo de densidade, obtido através do método do anel volumétrico e da parafina, em amostra indeformada.

faixa	densidade [kg/m ³]			
	met. anel		met. parafina	
	média	Desv. pad.	média	Desv. pad.
A	1406,83	71,76	1336,98	78,01
B	1377,17	49,98	1306,72	156,27
C	1394,53	15,71	1364,39	116,47
D	1369,75	26,21	1264,27	86,05
E	1331,66	37,91	1183,60	63,13
F	1251,27	58,75	1198,43	43,18

TABELA 6: Valores de densidade, obtidos através do método da parafina, em amostras colhidas pelo VAS com filme de óleo SAE 30, nas três rotações.

prof. [10 ⁻² m]	faixa	Densidade VAS met. Parafina [kg/m ³]					
		250		300		350	
		média	Desv. Pad	média	Desv. Pad	média	Desv. Pad
0 - 10	A	1172,28	144,65	1054,91	102,15	1289,21	54,99
10 - 20	B	1162,00	176,39	1053,60	82,29	1260,53	40,49
20 - 30	C	1160,74	106,63	1028,49	49,34	1316,24	26,53
30 - 40	D	1167,91	65,28	1011,45	82,57	1221,09	89,42
40 - 50	E	1059,42	119,87	1082,54	134,08	1268,66	87,00
50 - 60	F	1031,41	31,56	1013,64	111,05	1225,40	18,98

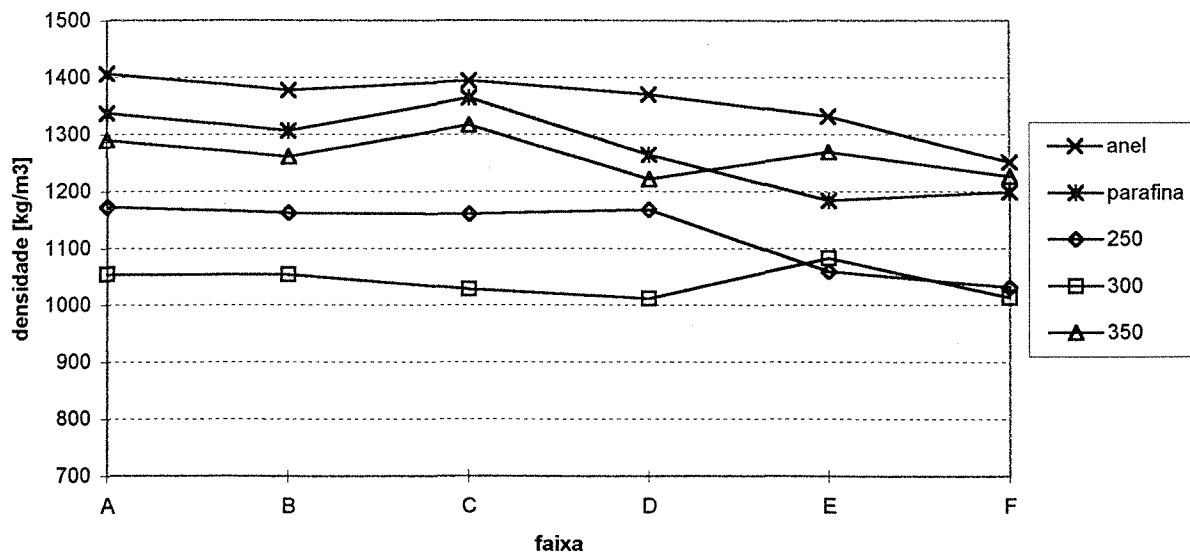


FIGURA 38: Valores de densidade, de amostras colhidas pelo VAS com filme de óleo SAE 30, nas três rotações, obtidos através do método da parafina e de amostra indeformada, pelos métodos do anel volumétrico e da parafina.

Aplicando o teste t de Student entre os grupos de dados, parafina x VAS em cada rotação, e entre as diferentes rotações em combinação, concluímos que: estatisticamente, em relação à densidade global, os quatro grupos não diferem a um nível de 5% de confiabilidade.

Os dados referentes a esta etapa do trabalho podem ser vistos no Anexo 4.

5.3.3. Ensaio de compressão triaxial

Segundo a escala de sensibilidade à indeformabilidade da amostra, foram executados os ensaios de compressão triaxial, dos quais, foram obtidos os valores apresentados na Tabela 7 e Figuras 39 a 42 .

TABELA 7: Dados de coesão e ângulo de atrito interno, obtidos pelo ensaio de compressão triaxial.

prof. [m 10 ⁻²]	Testemunha			VAS 300 rpm		
	coesão [kN/m ²]	ang. Atri. [°]	erro [kN/m ²] *	coesão [kN/m ²]	ang. atri. [°]	erro [kN/m ²] *
0 -30	27,6	11,2	18	38,0	14,7	20
30- 60	8,0	14,2	17	14,4	12,4	10

* erro estimado para o valor da coesão de acordo metodologia proposta

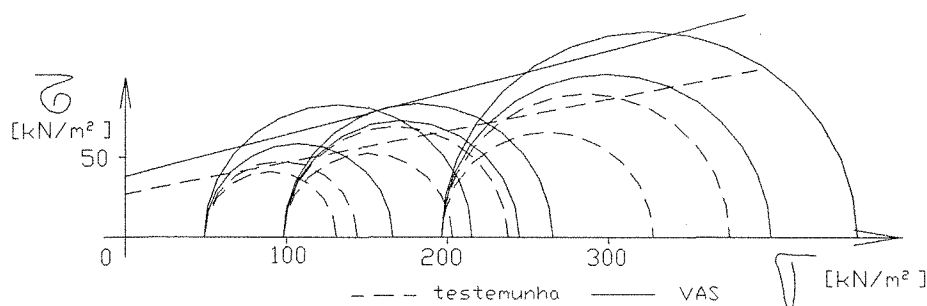


FIGURA 39: Círculo de Mohr, referente aos ensaios triaxiais; profundidade de trabalho 0 a 0,30 m.

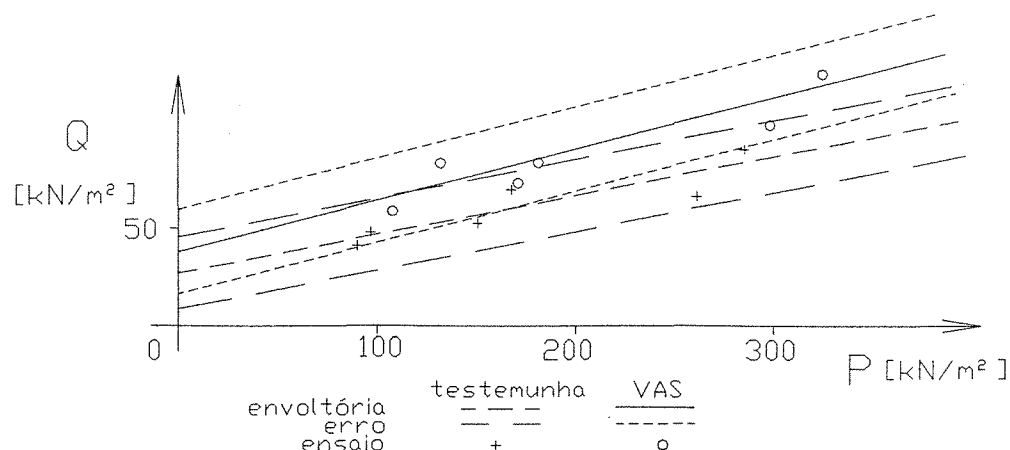


FIGURA 40: Linha Kf, com a região do erro associado; profundidade de trabalho 0 a 0,30 m.

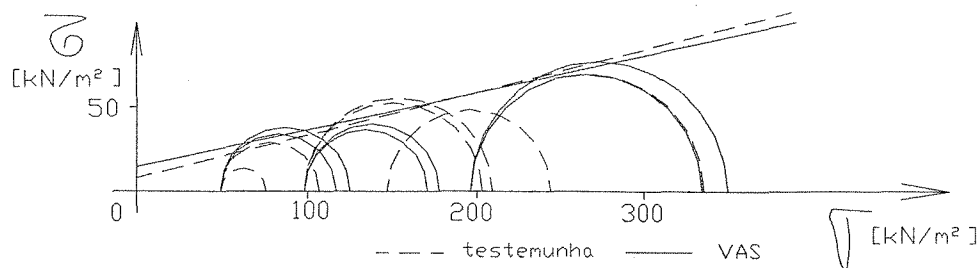


FIGURA 41: Círculo de Mohr, referente aos ensaios triaxiais; profundidade de trabalho 0,30 a 0,60 m.

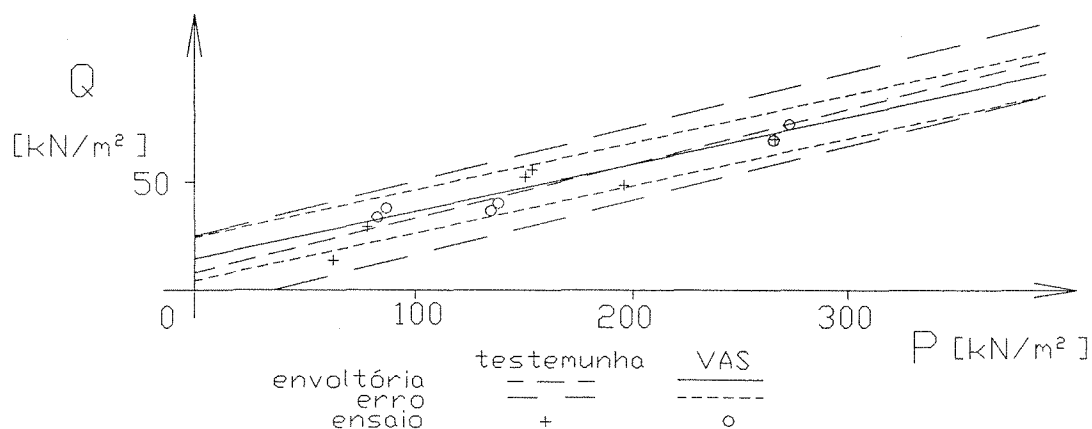


FIGURA 42: Linha Kf, com a região do erro associado; profundidade de trabalho 0,30 a 0,60 m.

Como previsto, os valores obtidos para a camada superficial, apresentaram um maior desvio, inclusive pelo fato da área escolhida estar gramada, o que leva à presença maciça de raízes à profundidades de até 0,50 m e explica esta variação.

As envoltórias obtidas apresentaram um desvio pequeno entre si, como pode ser comprovado pela proximidade destas às regiões delimitadas pelo erro. Em especial, nota-se que, para a profundidade de 0,3 a 0,6 m, estas regiões praticamente se sobrepõem na faixa de trabalho

quantidade de raízes que interferiram nos resultados, no segundo ensaio, em que se teve o cuidado de utilizar corpos de prova isentos da presença de raízes (na medida do possível) os resultados mostraram pequenos desvios em relação ao comportamento ao recalque, em função da proximidade das curvas de recompressão e início da reta de recompressão virgem.

Destes ensaios, foram calculadas as pressões de pré adensamento, seguindo o método de Casagrande, dos quais, foram obtidos os valores apresentados na Tabela 8.

TABELA 8: Valores da pressão de pré adensamento obtidos no ensaio de adensamento.

N	Pressão [kN/m ²]	
	testemunha	VAS
1	91,22	118,19
2	102,42	101,10
3	95,85	95,22
média	96,50	104,84
desvio pad	4,6	9,7

Aplicando o teste t de Student entre os grupos de dados, testemunha x VAS, concluímos que: estatisticamente, em relação à pressão de pré adensamento, as amostras não diferem a um nível de 5% de confiabilidade. Assim, concluímos que ambos os corpos de prova apresentaram o mesmo comportamento de recalque e, portanto, as amostras não sofreram nenhuma alteração significativa durante a amostragem.

Desta forma, concluímos que o VAS é um equipamento capaz de coletar amostras indeformadas de solo.

Os dados referentes a esta etapa do trabalho estão no Anexo 6.

6. Conclusões

Com relação às amostras obtidas, concluiu-se que, para Latossolo Roxo de textura argilosa, como o encontrado na área da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNCAMP, o equipamento é capaz de retirar amostras para determinação de:

1. densidade do solo, comparável aos valores obtidos pelo método do anel volumétrico e da parafina;
2. características de estado de tensão interna, comparados aos valores de C (Coesão) e ϕ (Ângulo de atrito interno) obtidos através do ensaio de compressão triaxial rápido; e
3. características de recalque, comparável aos valores de pressão de pré adensamento obtidos com o ensaio de adensamento.

Para todas as determinações observou-se que as amostras não são estatisticamente diferentes a um nível de 5% de confiabilidade.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que o VAS é capaz de coletar amostras indeformadas de solo.

Concluiu-se ainda, que:

1. o uso do PVC como tubo amostrador só é possível através do controle da aderência do solo às suas paredes internas;
2. o óleo usado, SAE 30, mostrou-se eficaz no controle desta aderência, sem contaminar a amostra, além de ser de fácil manuseio e aplicação;

3. a velocidade de rotação da rosca-sem-fim não exerce influência na qualidade da amostra, mas sim na velocidade de cravação do amostrador (quanto maior a velocidade de rotação, maior a de cravação);
4. adaptação do amostrador se mostrou eficaz e o conjunto amostrador veículo é adequado ao tráfego em terreno agrícola; e
5. o equipamento apresenta um potencial para uso em mapeamentos de solo através do uso de GPS (Geography Position System - Sistema de Posicionamento Geográfico).

7. Propostas para futuros trabalhos

7.1. Veículo amostrador de solos

Para melhorar o desempenho do VAS em terrenos agrícolas, recomenda-se trabalhar na otimização da sua estabilidade e dirigibilidade.

7.2. Mecanismo de adaptação do amostrador

No âmbito do mecanismo de adaptação do amostrador ao VAS, um suporte do amostrador que permita o alinhamento deste com a vertical do terreno, proporcionando uma melhor adaptação do VAS à topografia local e garantindo um melhor ganho em relação à profundidade de trabalho, deveria ser considerado. Além disso, assegurar uma velocidade uniforme de cravação, condicionada à velocidade angular, a fim de deixar o operador mais livre para se concentrar nas demais operações.

7.3. Amostrador

Com relação ao amostrador, pode ser alvo de futuros trabalhos, a reformulação das lâminas de corte, alterando: número, ângulos de ataque e de fuga (melhor fluxo de material, menor embuchamento); de forma a compor um elenco de ferramentas que melhor se adapte a cada tipo de solo (envolvendo adaptação e intercambiabilidade).

7.3.1. Avaliação

Com relação à avaliação da qualidade da amostra obtida, os seguintes propostas devem ser consideradas:

1. repetir os ensaios em solo remoldado (caixa de solo) para comprovação dos resultados, como uma forma de se poder reduzir a variabilidade espacial e contornar problemas tais como: presença de raízes, formigueiros, etc.;
2. com relação específica ao ensaio de compressão triaxial, em se trabalhando com solos de textura argilosa, realizar o carregamento lento e com drenagem, para conferir maior sensibilidade ao ensaio; e
3. com relação específica ao ensaio de adensamento realizar um numero maior de carregamentos, iniciando-se com pressão menores e terminado com pressões maiores, para obter um maior número de pontos e assim estabelecer a pressão de pré adensamento com maior confiabilidade.

8. Referências bibliográficas

BARGER, E. L. Liljedahl, J. B. Carleton, W. M. McKimblen, E.. Tratores e seus Motores. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 1976. 398p.

BUCHELE, W. F.. A Power Sampler of Undisturbed Soil. Transaction of the ASAE, St. Joseph. Special Power and Machinery Edition, v.2. n.4, p.185 - 191, 1961.

BUENO, B. S. & VILAR, O. M.. Mecânica dos Solos. São Carlos: Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, Dep. de Geotécnica, 1984. 131p.

CAPUTO, H. P.. Mecânica dos Solos e suas Aplicações. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1976. 242p.

CINTRA, José Carlosa. & ALBIERTO, José Henrique (Editores), FERREIRA, Agrimino A., NEGRO JÚNIOR, Arsenio (Organização). Solos do Interior de São Paulo. São Carlos: Associação Brasileira de Mecânica de Solos - Núcleo Regional de São Paulo Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1993. 399p.

CORTEZ, L. A. B. & MAGALHÃES, P. S. G. (Coordenadores);. Introdução à Engenharia Agrícola. 1 ed. Campinas: Editora da UNICAMP (série Manuais), 1992. 393p.

GEE-CLOGH, D.. Selection of tire sizes for agricultural vehicles. Journal of Agricultural Eng. Res. Silsor. V. 25, p. 261-278, 1980.

HARRY, T. Lyttleton e NYLE, C. Brady. Natureza e Propriedades dos Solos. 4^a ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1976. 594p.

HEAD, K. H.. Manual of Soil Laboratory Testing. Permeability, shear strength and

compressibility tests. London: Plymouth: Pentech Press, 1988. 747p. (2).

HENDRICKX, J. M. H.; RITSEMA, C. J.; BOERSMA, O. H.; DEKKER, L. W.; HAMMING, W. & VAN der KOLK, J. W. H.. Motor-driven Portable core sampler for volumetric Sampling. Soil Science. Society of American Journal, v. 6, n. 55, p.1792-1795, November-December 1991.

HVORSLEV, M. J.. Subsurface Exploration and Sampling of Soils for Civil Engineering Purposes. Vicksburg: Waterways Experimental Station, 1949. 521p.

KIEHL, E. J.. Manual de Edafologia. São Paulo: Editora Ceres Ltda, 1979. 262p.

LA ROCHELLE, P. & LEFEBVRE, G.. Sampling Disturbance in Champlain Clays. Special Tecnical Publication 483. American Society for Testing and Materials, p.143 - 163, 1971.

LA ROCHELLE, P. et. al... Causes of sampling disturbance and design of a new sampler for sensitive soils. Canadian Geotechnical Journal, Canada , v.1, n. 18, p.52 - 66, 1981.

LAMBE; T WILLIAN e WHITMAN, ROBERT V.. Soil Mechanics. New York: Massachusetts Institute of Technology, John Wiley & Sons Inc., 1969. 535p.

MAGALHÃES, P. S. G., BRAUNBECK, O A & TEIXEIRA, M. A.. Projeto Veículo Amostrador de solo relatório parcial do projeto FINEP - Manejo de solo em Citricultura Irrigada; Campinas: FEAGRI - UNICAMP, 1995. (Não publicado).

MATHEUS, F.. Estudo de um Amostrador de Solo para Veículo Leve. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, 1995. 40p. (Relatório de Estágio Supervisionado, não publicado)

MIALHE, L. G.. Máquinas Motoras na Agricultura. São Paulo: EDUSP - Editora da Universidade de São Paulo, 1980. 367p. (2).

- MONACCI, Maria Denise. Estudo da colapsibilidade de um solo do campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, 1995. 108p. (Dissertação. mestrado em Engenharia Agrícola).
- NOGUIERA, J. B.. Mecânica dos Solo, Ensaio de Laboratório, Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Geologia e Mecânica de Solos, 1973. 150p.
- REICHARDT, K., VIEIRA, S. R. & LIBARD, P. L.. Variabilidade Espacial de Solos e Experimentação de Campo. Revista Brasileira de Ciência de Solo, Campinas, v.1, n.10, p. 1-6, 1986.
- RHOTON, F. E. & McCHESNEY, D. S.. System for collecting undisturbed core from surface soils for micromorphological analysis. Soil Science, Society of American Journal, v.6, n. 55 p. 1796-1797, Novembro - Dezembro 1991.
- ROGERS, J. S. & CARTER; Soil core sampling for hydraulic conductivity and bulk density. Soil Science; Society of American Journal, v.5, n. 51, p. 1393-1394, Setembro - Outubro 1987.
- SCHWEIZER, E. E. & FREY, D.. The core of the problem (Soil sampling equipment). Agricultural Research, v.10, n.23, p. 12-13, Abril 1975.
- SLAFFORD, J. V.; AUDSLEY, E. e SHARP, J. R.. The determination of the best fit linear failure envelopes to Mohr circle. J. Agric. Engng. Res, 33, p. 33-38, 1986.
- TEIXEIRA, M. A.. Projeto de veículo amostrador de solos, Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, 1995. (Relatório de Estágio Supervisionado, não publicado)

TERZAGHI, K. e PECK, R. B.. Soil mechanics in Engineering Practice. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1967. 729p.

TSCHEBOTARIOFF, G. P.. Foundations Retaining and Earth Structures, the art of design and construction and its scientific phases in soil mechanics. 2 ed. Tokyo: MacGraw-Hill/Kogakusha Ltd, 1973. 655p.

VARGAS, M.. Fundações de barragens de terra sobre solos porosos. Revista Construções Pesadas, p. 77-81, março 1977.

VARGAS, Milton. Introdução à Mecânica dos Solos. São Paulo: Ed. McGraw-Hill do Brasil Ltda, 1977. 509p.

WINTERKORN, H. F. & FANG. Foundation Engeneering Handbook. New York: Van Mostand Reinhold Company, 1975. 923p.

9. Anexo 1 - Dados para obtenção do Centro de Gravidade

Dados para o cálculo da posição do Centro de Gravidade e ângulo de estabilidade lateral:

Içando a roda direcional:

y2 [m]	R2 [kg]	x1 [m]	x1' [m]	x2 [m]	x2' [m]	beta [°]	y3 [m]
0	150	1,1	1,10	0,31	0,3058	0,00	x
0,11	148	1,1	1,09	0,31	0,3002	5,74	0,0408

Cálculo do ângulo limite:

bitola [m]	1,6	alfa [°]	52,57
l [m]	1,058	tg alfa	1,31
y [m]	0,32	beta [°]	74,38
x [m]	0,3069	tg beta	3,58

Içando a roda esquerda:

y2 [m]	R2 [kg]	x1 [m]	x1' [m]	x2 [m]	x2' [m]	beta [°]	y3 [m]
0	215	1,224	1,22	0,49	0,4898	0,00	x
0,11	203	1,224	1,22	0,49	0,4605	5,16	0,3035

Cálculo do ângulo limite:

bitola [m]	1,3137	alfa [°]	48,95
l [m]	1,2021	tg alfa	1,15
y [m]	0,32	beta [°]	74,92
x [m]	0,3479	tg beta	3,71

Içando a roda direita:

y2 [m]	R2 [kg]	x1 [m]	x1' [m]	x2 [m]	x2' [m]	beta [°]	y3 [m]
0	213	1,1	1,10	0,44	0,4350	0,00	x
0,2	194	1,1	1,08	0,44	0,3905	10,48	0,2052

Cálculo do ângulo limite:

bitola [m]	1,3137	alfa [°]	41,19
l [m]	1,2021	tg alfa	0,88
y [m]	0,32	beta [°]	67,16
x [m]	0,519	tg beta	2,37

10. Anexo 2 - Dados para obtenção da densidade do solo: método do anel

Dados de densidade. Rotação: 250 rpm

prof. med. [10 ⁻² m]	VAS	descarte	0	rotação	A 250
	massa úmida[10 ⁻³ kg]	seca[10 ⁻³ kg]	umidade [%]	densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
5	340,66	266,8	21,7	1407,27	5,00
10	348,76	273,9	21,5	1444,72	5,00
15	346,22	269,4	22,2	1420,98	5,00
20	315,38	243,2	22,9	1282,79	5,00
25	338,78	260,4	23,1	1373,51	5,00
30	316,26	242,7	23,3	1280,15	5,00
35	347,47	266,9	23,2	1407,79	5,00
40	362,55	277,5	23,5	1463,71	5,00
45	378,7	289,4	23,6	1526,47	5,00
50	126,97	97,9	22,9	1844,23	1,40

prof. med. [10 ⁻² m]	VAS	descarte	0	rotação	B 250
	massa úmida[10 ⁻³ kg]	seca[10 ⁻³ kg]	umidade [%]	densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
5	322,76	252,1	21,9	1329,73	5,00
10	340	264,7	22,1	1396,19	5,00
15	331,27	259,2	21,8	1367,18	5,00
20	352,77	274	22,3	1445,24	5,00
30	337,56	261,8	22,4	1380,89	5,00
35	338,82	260,4	23,1	1373,51	5,00
40	344,96	263,6	23,6	1390,4	5,00
45	316,37	241	23,8	1271,18	5,00
50	326,3	249	23,7	1313,38	5,00
55	259,23	189,4	26,9	1062,78	4,70

prof. med. [10 ⁻² m]	VAS	descarte	2,5	rotação	C 250
	massa úmida[10 ⁻³ kg]	seca[10 ⁻³ kg]	umidade [%]	densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
10	342,99	266,8	22,2	1407,27	5,00
15	348,34	272,2	21,9	1435,75	5,00
20	330,97	258,6	21,9	1364,02	5,00
25	334,13	262,7	21,4	1385,64	5,00
30	345,44	271,5	21,4	1432,06	5,00
35	333,83	259,4	22,3	1368,24	5,00
40	324,29	251	22,6	1323,93	5,00
45	307,36	237,6	22,7	1253,25	5,00
50	319,83	247,3	22,7	1304,41	5,00
55	322,54	247,8	23,2	1307,05	5,00
60	261,07	200,9	23,0	1412,89	3,75

Rotação: 300 rpm

prof. med. [10 ⁻² m]	VAS	descarte	0	rotação	A 300
	Massa úmida[10 ⁻³ kg]	seca[10 ⁻³ kg]	umidade [%]	densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
5	325,75	255,9	21,4	1349,77	5,00
10	344,63	271,9	21,1	1434,17	5,00
15	353,71	273,6	22,6	1443,13	5,00
20	343,29	265	22,8	1397,77	5,00
25	336,89	258	23,4	1360,85	5,00
30	336,97	258,9	23,2	1365,60	5,00
35	327,26	251	23,3	1323,93	5,00
40	313,02	239,6	23,5	1263,80	5,00
45	322,76	245,8	23,8	1296,50	5,00

prof. med. [10 ⁻² m]	VAS	descarte		rotação	B 300
	massa úmida[10 ⁻³ kg]	seca[10 ⁻³ kg]	umidade [%]	densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
5	304,7	234,1	23,2	1234,79	5,00
10	330,9	256,9	22,4	1355,05	5,00
15	320,69	249,1	22,3	1313,91	5,00
20	338,8	263,2	22,3	1388,28	5,00
25	347,06	271	21,9	1429,42	5,00
30	338,23	261,5	22,7	1379,31	5,00
35	332,16	255,1	23,2	1345,55	5,00
40	319,39	245,1	23,3	1292,81	5,00
45	330,41	253,1	23,4	1335,00	5,00
50	356,19	272,2	23,6	1435,75	5,00
55	208,21	159	23,6	1397,77	3,00
sup fundo	358,08	277,2	22,6	1462,12	5,00

prof. med. [10 ⁻² m]	VAS	descarte	4	rotação	C 300
	massa úmida[10 ⁻³ kg]	seca[10 ⁻³ kg]	umidade [%]	densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
10	338,27	260,2	23,1	1372,45	5,00
15	352,55	278	21,1	1466,34	5,00
20	364,14	285,9	21,5	1508,01	5,00
25	332,86	259,3	22,1	1367,71	5,00
30	337,49	260,5	22,8	1374,04	5,00
35	331,54	255,5	22,9	1347,66	5,00
40	334,41	257,4	23,0	1357,69	5,00
45	334,64	257	23,2	1355,58	5,00
50	334,65	256,3	23,4	1351,88	5,00
55	331,54	254,4	23,3	1341,86	5,00
60	155,23	119,7	22,9	1372,55	2,30

Rotação: 350 rpm

prof. med. [10 ⁻² m]	VAS	descarte	0	rotação	A 350
	massa úmida[10 ⁻³ kg]	seca[10 ⁻³ kg]	umidade [%]	densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
5	341,71	267	21,9	1408,32	5,00
10	339,49	267,7	21,1	1412,01	5,00
15	337,76	265,9	21,3	1402,52	5,00
20	328,69	256,6	21,9	1353,47	5,00
25	324,1	252,7	22,0	1332,90	5,00
30	323,88	252,7	22,0	1332,90	5,00
35	319,23	248	22,3	1308,10	5,00
40	342,63	265,7	22,5	1401,47	5,00
45	316,52	245,4	22,5	1294,39	5,00

prof. med. [10 ⁻² m]	VAS	descarte	10	rotação	B 350
	massa úmida[10 ⁻³ kg]	seca[10 ⁻³ kg]	umidade [%]	densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
15	305,15	239,4	21,5	1262,74	5,00
20	329,24	256,3	22,2	1351,88	5,00
25	331,81	260	21,6	1371,40	5,00
30	326,1	255,3	21,7	1346,61	5,00
35	322,71	251,7	22,0	1327,62	5,00
40	307,06	239	22,2	1260,63	5,00
45	308,59	238,5	22,7	1258,00	5,00
50	320,56	247,2	22,9	1303,88	5,00
55	325,5	251	22,9	1323,93	5,00
60	89,33	69,2	22,5	1303,58	1,40

prof. med. [10 ⁻² m]	VAS	descarte	1	rotação	C 350
	massa úmida[10 ⁻³ kg]	seca[10 ⁻³ kg]	umidade [%]	densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
5	331,11	260,5	21,3	1374,04	5,00
10	323,27	255,5	21,0	1347,66	5,00
15	338,46	265,9	21,4	1402,52	5,00
20	331,69	259,2	21,9	1367,18	5,00
25	307,95	239,4	22,3	1262,74	5,00
30	311,38	240,4	22,8	1268,02	5,00
35	301,61	234,3	22,3	1235,84	5,00
40	317,65	245,2	22,8	1293,34	5,00
45	320,44	247,9	22,6	1307,58	5,00
sup fundo	378,69	295,8	21,9	1560,23	5,00

Testemunha:

Anel volumétrico

prof. 0 - 10						
N	massa			densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]	vol. [m ³]
	úmida [10 ⁻³ kg]	seca [10 ⁻³ kg]	umidade [%]			
1	176,5	138,4	21,6	1399,59	4,51	0,0001
2	185,1	146,3	21,0	1479,48	4,51	0,0001
3	172,5	134,9	21,8	1364,19	4,51	0,0001
4	167,3	131,1	21,6	1325,76	4,51	0,0001
5	189,9	150,7	20,6	1523,97	4,51	0,0001
6	171,5	133,3	22,3	1348,01	4,51	0,0001

prof. 10 - 20						
N	massa			densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]	vol. [m ³]
	úmida [10 ⁻³ kg]	seca [10 ⁻³ kg]	umidade [%]			
1	180,5	141,2	21,8	1427,90	4,51	0,0001
2	177	138,4	21,8	1399,59	4,51	0,0001
3	166,8	130,1	22,0	1315,65	4,51	0,0001
4	179,5	141,4	21,2	1429,92	4,51	0,0001
5	164,8	129	21,7	1304,53	4,51	0,0001
6	175,8	137	22,1	1385,43	4,51	0,0001

prof. 20 - 30						
N	massa			densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]	vol. [m ³]
	úmida [10 ⁻³ kg]	seca [10 ⁻³ kg]	umidade [%]			
1	179,1	138	23,1	1393,52	4,51	0,0001
2	176,7	137	22,3	1388,46	4,51	0,0001
3	175,5	136	22,5	1375,32	4,51	0,0001
4	182,4	141	22,6	1426,89	4,51	0,0001
5	177,8	138	22,5	1393,52	4,51	0,0001
6	176,8	137	22,3	1389,47	4,51	0,0001
7	166,6	130	22,3	1309,58	4,51	0,0001

prof. 30 - 40						
N	massa			densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]	vol. [m ³]
	úmida [10 ⁻³ kg]	seca [10 ⁻³ kg]	umidade [%]			
1	179	138	22,7	1399,59	4,51	0,0001
2	170,9	132	23,1	1329,81	4,51	0,0001
3	178,4	138	22,7	1394,53	4,51	0,0001
4	172,1	133	22,8	1343,97	4,51	0,0001
5	176,6	137	22,3	1387,45	4,51	0,0001
6	174,7	135	22,8	1363,18	4,51	0,0001

prof. 40 - 50						
N	massa			densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]	vol. [m ³]
	úmida [10 ⁻³ kg]	seca [10 ⁻³ kg]	umidade [%]			
1	162,1	124,6	23,1	1260,03	4,51	0,0001
2	175,5	135,6	22,7	1371,27	4,51	0,0001
3	174,4	134,7	22,8	1362,17	4,51	0,0001
4	172,9	133,2	23,0	1347,00	4,51	0,0001
5	167,3	129,2	22,8	1306,55	4,51	0,0001
6	171,2	132,8	22,4	1342,96	4,51	0,0001
7	172,1	132,8	22,8	1342,96	4,51	0,0001

prof. 50 - 60						
N	massa			densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]	vol. [m ³]
	úmida [10 ⁻³ kg]	seca [10 ⁻³ kg]	umidade [%]			
1	151,9	116,7	23,2	1180,14	4,51	0,0001
2	175,5	134,3	23,5	1358,13	4,51	0,0001
3	164	126	23,2	1274,19	4,51	0,0001
4	154,4	118,6	23,2	1199,36	4,51	0,0001
5	157,7	121,2	23,1	1225,65	4,51	0,0001
6	163,9	125,6	23,4	1270,15	4,51	0,0001
7	171,9	132,1	23,2	1335,88	4,51	0,0001

11. Anexo 3 - Dados para obtenção da densidade do solo com uso de óleo

Dados de densidade das amostras colhidas com o VAS, com o uso de óleo:

250 rpm:

A O 250		massa		densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
prof. [10 ⁻² m]		úmida [10 ⁻³ kg]	seca [10 ⁻³ kg]		
0 -10		341,04	270,24	1425,80	5,00
10 - 20		691,59	547,70	1443,96	10,00
20 - 30		676,83	526,82	1389,02	10,00
30 -40		637,36	492,88	1299,51	10,00
40 - 50		648,31	498,35	1314,00	10,00
50 - 60		460,33	354,00	1333,24	7,00

B O 250		massa		densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
prof. [10 ⁻² m]		úmida [10 ⁻³ kg]	seca [10 ⁻³ kg]		
0 -10		348,70	277,98	1465,86	5,00
10 - 20		694,97	549,83	1449,63	10,00
20 - 30		655,32	506,12	1334,43	10,00
30 -40		633,59	489,19	1289,78	10,00
40 - 50		656,91	506,48	1335,25	10,00
50 - 60		175,59	135,18	1188,38	3,00

C O 250		massa		densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
prof. [10 ⁻² m]		úmida [10 ⁻³ kg]	seca [10 ⁻³ kg]		
0 -10		341,43	268,92	1418,36	5,00
10 - 20		690,36	543,87	1433,73	10,00
20 - 30		684,36	530,46	1399,25	10,00
30 -40		640,59	494,62	1303,99	10,00
40 - 50		640,74	494,07	1302,88	10,00
50 - 60		449,34	345,32	1400,67	6,50

D O 250		massa		densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
prof. [10 ⁻² m]		úmida [10 ⁻³ kg]	seca [10 ⁻³ kg]		
0 -10		334,60	266,72	1406,66	5,00
10 - 20		656,46	521,12	1373,97	10,00
20 - 30		652,89	509,11	1342,18	10,00
30 -40		614,91	475,95	1255,75	10,00
40 - 50		654,67	504,81	1331,06	10,00
50 - 60		31,80	24,66	650,03	1,00

E O 250		massa		densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
prof. [10 ⁻² m]	úmida [10 ⁻³ g]	seca [10 ⁻³ kg]	umidade [%]		
0 -10	331,41	257,79	22,28	250,40	5,00
10 - 20	686,40	529,95	22,86	504,90	10,00
20 - 30	682,36	521,92	23,53	498,30	10,00
30 -40	614,31	468,32	23,78	446,72	10,00
40 - 50	627,22	474,08	24,42	479,60	10,00
50 - 60	378,83	275,44	27,50	24,66	6,00

F O 250		massa		densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
prof. [10 ⁻² m]	úmida [10 ⁻³ g]	seca [10 ⁻³ kg]	umidade [%]		
0 -10	366,19	284,40	22,37	1500,7106	5,00
10 - 20	685,02	532,41	22,32	1403,7069	10,00
20 - 30	670,54	518,83	22,64	1368,2795	10,00
30 -40	648,42	497,49	23,29	1311,6852	10,00
40 - 50	641,03	489,59	23,62	1291,7572	10,00
50 - 60	189,00	144,71	23,47	1272,8222	3,00

G O 250		massa		densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
prof. [10 ⁻² m]	úmida [10 ⁻³ g]	seca [10 ⁻³ kg]	umidade [%]		
0 -10	351,90	277,22	21,30	1462,23	5,00
10 - 20	702,18	547,43	22,10	1443,72	10,00
20 - 30	660,38	507,97	23,06	1339,84	10,00
30 -40	615,01	469,26	23,71	1237,54	10,00
40 - 50	614,42	467,37	23,96	1232,50	10,00
50 - 60	310,10	235,36	24,09	1293,49	4,80

H O 250		massa		densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
prof. [10 ⁻² m]	úmida [10 ⁻³ g]	seca [10 ⁻³ kg]	umidade [%]		
0 -10	354,03	272,27	23,13	1152,93	5,00
10 - 20	690,65	534,93	22,32	1302,96	10,00
20 - 30	665,48	517,93	22,21	1222,32	10,00
30 -40	628,94	484,45	22,98	1169,07	10,00
40 - 50	619,63	476,42	23,12	1163,17	10,00
50 - 60	348,12	110,19	68,81	1058,54	2,00

300 rpm:

A O 300	massa			densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
	prof. [10 ⁻² m]	úmida [10 ⁻³ g]	seca [10 ⁻³ kg]		
	0 -10	301,55	233,91	22,58	1233,63
	10 - 20	679,23	525,80	22,74	1386,28
	20 - 30	629,74	485,93	22,91	1281,42
	30 -40	630,95	489,05	22,51	1289,99
	40 - 50	639,93	493,70	22,86	1301,72
	50 - 60	104,17	80,01	23,16	1060,19

B O 300	massa			densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
	prof. [10 ⁻² m]	úmida [10 ⁻³ g]	seca [10 ⁻³ kg]		
	0 -10	345,88	269,87	22,00	1423,11
	10 - 20	706,09	551,12	21,99	1452,89
	20 - 30	701,40	539,31	23,15	1421,66
	30 -40	640,58	495,94	22,60	1307,41
	40 - 50	664,63	511,88	22,99	1349,48
	50 - 60	323,44	248,70	23,12	1425,49

C O 300	massa			densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
	prof. [10 ⁻² m]	úmida [10 ⁻³ g]	seca [10 ⁻³ kg]		
	0 -10	27,73	21,78	21,46	#VALOR!
	10 - 20	367,91	283,99	22,74	1497,28
	20 - 30	663,77	514,32	23,67	1356,00
	30 -40	687,20	525,05	23,61	1384,20
	40 - 50	633,01	485,99	23,41	1281,48
	50 - 60	329,73	253,72	23,36	1338,28

D O 300	massa			densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
	prof. [10 ⁻² m]	úmida [10 ⁻³ g]	seca [10 ⁻³ kg]		
	0 -10	329,15	259,38	21,47	1367,75
	10 - 20	701,78	552,70	21,26	1457,69
	20 - 30	656,70	511,63	22,10	1348,96
	30 -40	616,58	476,12	22,77	1255,35
	40 - 50	643,36	496,74	22,78	1309,71
	50 - 60	277,53	215,44	22,35	1421,71

E O 300		massa		densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
prof. [10 ⁻² m]	úmida [10 ⁻³ g]	seca [10 ⁻³ kg]	umidade [%]		
0 -10	314,94	250,64	20,29	241,70	5,00
10 - 20	694,01	536,12	20,74	524,10	10,00
20 - 30	662,29	521,85	21,19	493,20	10,00
30 -40	655,79	511,95	21,93	471,70	10,00
40 - 50	610,95	475,95	22,08	478,70	10,00
50 - 60	286,51	224,33	21,74	194,60	4,00

F O 300		massa		densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
prof. [10 ⁻² m]	úmida [10 ⁻³ g]	seca [10 ⁻³ kg]	umidade [%]		
0 -10	334,10	266,27	20,30	1404,6558	5,00
10 - 20	685,86	545,11	20,48	1437,4473	10,00
20 - 30	664,93	522,88	21,34	1378,797	10,00
30 -40	639,65	501,08	21,66	1321,2801	10,00
40 - 50	650,57	509,74	21,64	1344,0549	10,00
50 - 60	249,13	195,63	21,27	1720,4978	3,00

G O 300		massa		densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
prof. [10 ⁻² m]	úmida [10 ⁻³ g]	seca [10 ⁻³ kg]	umidade [%]		
0 -10	319,53	251,35	21,25	1325,52	5,00
10 - 20	718,41	567,90	20,94	1497,49	10,00
20 - 30	704,31	556,34	21,03	1466,79	10,00
30 -40	704,49	560,04	20,50	1476,49	10,00
40 - 50	682,24	538,63	20,99	1420,29	10,00
50 - 60	407,74	320,24	21,44	1299,74	6,50

350 rpm:

A O 350		massa		densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]
prof. [10 ⁻² m]	úmida [10 ⁻³ g]	seca [10 ⁻³ kg]	umidade [%]		
0 -10	341,10	267,57	21,65	1411,09	5,00
10 - 20	695,32	545,96	21,52	1439,35	10,00
20 - 30	662,66	513,39	22,52	1353,47	10,00
30 -40	651,90	503,28	22,67	1338,78	10,00
40 - 50	668,26	514,45	23,06	1356,23	10,00
50 - 60	268,55	206,97	22,93	1213,54	4,50

B O 350	massa			densidade [kg/m ³]	alt. [10 ⁻² m]	
	prof. [10 ⁻² m]	úmida [10 ⁻³ g]	seca [10 ⁻³ kg]			umidade [%]
	0 -10	343,34	270,52	21,21	1426,69	5,00
	10 - 20	691,71	544,97	21,24	1436,66	10,00
	20 - 30	687,71	534,53	22,29	1409,22	10,00
	30 -40	685,41	529,71	22,71	1396,67	10,00
	40 - 50	627,37	483,23	23,00	1274,04	10,00

C O 350	massa			densidade	alt.	
	prof. [10 ⁻² m]	úmida [10 ⁻³ g]	seca [10 ⁻³ kg]			umidade [%]
0 -10		359,65	284,72	20,88	1501,66	5,00
10 - 20		696,96	549,18	21,26	1447,70	10,00
20 - 30		664,73	516,70	22,30	1362,14	10,00
30 -40		645,02	498,72	22,69	1314,82	10,00
40 - 50		622,65	481,30	22,72	1269,04	10,00
50 - 60		79,57	61,96	22,10	1090,24	1,50

D O 350	massa			densidade	alt.
prof. [10^{-2} m]	úmida [10^{-3} g]	seca [10^{-3} kg]	umidade [%]	[kg/m ³]	[10^{-2} m]
0 -10	381,99	301,88	20,97	1592,18	5,00
10 - 20	691,59	543,21	21,46	1432,07	10,00
20 - 30	667,66	519,32	22,21	1369,31	10,00
30 -40	640,14	494,27	22,79	1303,20	10,00
40 - 50	620,15	480,10	22,59	1265,77	10,00
50 - 60	118,50	91,90	22,45	1211,23	2,00

E O 350	massa			densidade	alt.
prof. [10^{-2} m]	úmida [10^{-3} g]	seca [10^{-3} kg]	umidade [%]	[kg/m ³]	[10^{-2} m]
0 -10	344,91	272,13	21,19	287,50	5,00
10 - 20	636,04	498,77	21,56	524,50	10,00
20 - 30	657,84	510,57	22,40	495,60	10,00
30 -40	629,99	484,86	22,96	486,20	10,00
40 - 50	654,83	502,56	23,22	441,40	10,00
50 - 60	286,64	220,01	23,28	91,90	4,30

F O 350		massa		densidade		alt.
prof. [10^{-2} m]	úmida [10^{-3} g]	seca [10^{-3} kg]	umidade [%]	[kg/m ³]		[10^{-2} m]
0 -10	336,02	264,42	21,31	1395,1664		5,00
10 - 20	682,60	537,95	21,19	1418,2574		10,00
20 - 30	652,04	509,75	21,87	1343,7122		10,00
30 -40	648,60	498,68	23,01	1321,86		10,00
40 - 50	682,69	521,36	23,61	1375,2648		10,00
50 - 60	89,97	68,91	23,41	1817,7651		1,00

G O 350		massa		densidade		alt.
prof. [10^{-2} m]	úmida [10^{-3} g]	seca [10^{-3} kg]	umidade [%]	[kg/m ³]		[10^{-2} m]
0 -10	372,41	285,81	23,25	1507,20		5,00
10 - 20	688,09	531,75	22,71	1402,13		10,00
20 - 30	626,77	481,54	23,17	1269,51		10,00
30 -40	638,57	488,32	23,17	1288,73		10,00
40 - 50	637,33	488,46	23,35	1288,75		10,00
50 - 60	306,08	236,09	22,81	1385,47		4,50

H O 350		massa		densidade		alt.
prof. [10^{-2} m]	úmida [10^{-3} g]	seca [10^{-3} kg]	umidade [%]	[kg/m ³]		[10^{-2} m]
0 -10	362,09	287,21	20,69	1293,85		5,00
10 - 20	683,13	534,67	21,70	1229,52		10,00
20 - 30	672,13	522,81	22,17	1353,18		10,00
30 -40	625,68	480,19	23,25	1149,86		10,00
40 - 50	655,49	500,80	23,56	1214,43		10,00
50 - 60	574,90	439,05	23,60	1179,65		9,00

12. Anexo 4 - Dados para obtenção da densidade do solo: método da parafina

Dados de confrontação do método da parafina.

Testemunha (Densidade da parafina utilizada = 830,41 [kg/m³])

profundidade 0-10					umidade [%]	densidade [kg/m ³]
massa úmida	[10 ⁻³ kg] seca	parafinada	imersa	parafina		
306,3	236,3	255,8	82,9	19,50	22,85	1366,87
243,8	184,8	192,8	65,6	8,00	24,20	1452,94
215,4	162,6	171,6	54,6	9,00	24,51	1389,87
175,5	121,6	130,5	33,8	8,90	30,71	1257,64
34,86	26,91	28,00	9,09	1,09	22,81	1423,16
52,60	40,70	45,08	13,60	4,38	22,62	1293,10
31,63	24,34	29,35	10,53	5,01	23,05	1293,72
19,52	15,13	18,00	5,58	2,87	22,49	1218,54

profundidade 10 - 20					umidade [%]	densidade [kg/m ³]
massa úmida	[10 ⁻³ kg] seca	parafinada	imersa	parafina		
412	317,2	329,5	116,5	12,30	23,01	1489,31
377	288,1	294,8	98,9	6,70	23,58	1470,71
315,5	241,9	248,4	83	6,50	23,33	1462,58
290,4	222	232,1	75,3	10,10	23,55	1415,93
72,80	55,29	73,30	27,55	18,01	24,05	1209,10
76,32	57,94	64,17	14,35	6,23	24,08	1163,16
63,80	48,94	54,66	10,67	5,72	23,29	1112,70
51,28	39,61	44,41	9,36	4,80	22,76	1130,29

profundidade 20 - 30					umidade [%]	densidade [kg/m ³]
massa úmida	[10 ⁻³ kg] seca	parafinada	imersa	parafina		
419,3	323,5	337	120,7	13,50	22,85	1495,72
418,5	322,9	335,7	115,1	12,80	22,84	1463,84
335,8	254,7	266,3	93,2	11,60	24,15	1471,52
343,1	263,9	272	92,5	8,10	23,08	1470,27
82,71	63,52	68,37	20,13	4,85	23,20	1316,91
71,17	54,46	59,16	16,05	4,70	23,48	1263,45
15,17	11,60	12,96	3,70	1,36	23,53	1252,92
14,64	11,33	13,24	3,64	1,91	22,61	1180,49

profundidade					30 - 40	
massa	[10 ⁻³ kg]				umidade	densidade
úmida	seca	parafinada	imersa	parafina	[%]	[kg/m ³]
367,8	280,2	290,7	82	10,50	830,41	1342,68
358	272,8	297,3	93,5	24,50	830,41	1338,76
458,6	350,9	364,9	113,8	14,00	830,41	1397,55
451,7	342,4	365	99,6	22,60	830,41	1290,26
36,23	28,56	31,88	6,92	3,32	830,41	1144,41
46,34	36,43	39,34	8,78	2,91	830,41	1192,22
24,48	19,28	21,68	5,20	2,40	830,41	1170,11
60,56	48,69	52,63	13,30	3,94	830,41	1238,14

profundidade					40 - 50	
massa	[10 ⁻³ kg]				umidade	densidade
úmida	seca	parafinada	imersa	parafina	[%]	[kg/m ³]
268,6	203,6	212,8	54,3	9,20	830,41	1284,63
93,6	70,7	76,6	19,1	5,90	830,41	1229,72
250,4	187,7	205	46,3	17,30	830,41	1182,89
86,4	64,9	69	16,3	4,10	830,41	1231,61
39,16	31,02	34,39	8,26	3,37	830,41	1187,33
27,60	21,58	23,86	5,40	2,28	830,41	1169,19
26,39	20,52	23,29	4,63	2,77	830,41	1099,88
35,31	27,67	30,61	5,07	2,94	830,41	1083,55

profundidade					50 - 60	
massa	[10 ⁻³ kg]				umidade	densidade
úmida	seca	parafinada	imersa	parafina	[%]	[kg/m ³]
67,7	50,2	67,7	23	17,50	25,85	1123,57
37,2	27,7	37,8	13,9	10,10	25,54	1159,59
50,00	36,70	40,70	10,10	4,00	26,60	1199,54
166,50	124,90	135,80	28,50	10,90	24,98	1164,17
158,50	117,80	134,60	37,80	16,80	25,68	1217,20
72,30	53,30	57,30	13,50	4,00	26,28	1217,03
126	93,6	99,8	25,3	6,20	25,71	1256,50
50,7	37,6	39,4	9,3	1,80	25,84	1249,26

Dados do amostrador (Densidade da parafina utilizada = 830,41 [kg/m³]):

250 rpm

		rotação		A O 250			densidade [kg/m ³]
prof. [10 ⁻² m]		úmido	seco	massa parafinado	[10 ⁻³ kg] imerso	resíduo parafina	
0 -10		38,64	30,74	34,14	10,51	0,21	1301,11
10 - 20		28,39	22,7	26,46	8,86	0,09	1290,10
20 - 30		60,03	47,02	52,57	16,89	0,13	1318,07
30 -40		36,16	28,08	32,9	9,6	0,11	1205,45
40 - 50		43,41	33,45	38,71	11,05	0,14	1209,60
50 - 60		30,43	23,5	26,8	7,85	0,05	1240,37

		rotação		B O 250			densidade [kg/m ³]
prof. [10 ⁻² m]		úmido	seco	massa parafinado	[10 ⁻³ kg] imerso	resíduo parafina	
0 -10		18,5	14,98	17,76	6,22	0,07	1298,47
10 - 20		39,77	31,73	35,93	12,06	0,11	1329,56
20 - 30		15,82	12,22	15,09	4,26	0,12	1128,70
30 -40		17,69	13,69	17,29	4,99	0,11	1113,40
40 - 50		20,21	15,58	17,83	4,97	0,07	1211,76
50 - 60		12,79	9,88	11,34	3,03	0,07	1189,18

		rotação		C O 250			densidade [kg/m ³]
prof. [10 ⁻² m]		úmido	seco	massa parafinado	[10 ⁻³ kg] imerso	resíduo parafina	
0 -10		25,13	19,82	22,01	7,05	0,12	1325,0999
10 - 20		31,36	24,87	29,37	8,78	0,04	1208,1859
20 - 30		21,86	16,96	18,61	5,99	0,37	1344,1102
30 -40		19,79	15,32	18,82	4,95	0,07	1104,8779
40 - 50		23,04	17,67	20,79	6,32	0,2	1221,4644
50 - 60		15,54	11,92	14,04	4,09	0,07	1198,2974

		rotação		D O 250			densidade [kg/m ³]
prof. [10 ⁻² m]		úmido	seco	massa parafinado	[10 ⁻³ kg] imerso	resíduo parafina	
0 -10		20,5	16,32	19,43	5,05	0,1	1135,2053
10 - 20		20,46	16,22	18,84	5,02	0,12	1173,9294
20 - 30		13,89	10,81	12,55	3,03	0,07	1135,7542
30 -40		38,01	29,23	34,93	7,43	0,44	1063,1745
40 - 50		32,77	25,21	28,07	9,23	0,15	1338,3551

		rotação		E O 250			densidade [kg/m ³]
prof. [10 ⁻² m]		massa [10 ⁻³ kg]					
	úmido	seco	parafinado	imerso	resíduo	parafina	
0 -10	18,61	14,69	16,66	4,65	0,14	1,97	1223,389
10 - 20	25,8	20,35	28,66	5,01	0,08	8,31	860,82936
20 - 30	22,36	17,22	22,27	4,74	0,11	5,05	982,65692
30 -40	20,21	15,52	18,499	3,9	0,1	2,979	1063,3478
40 - 50	20,72	15,68	20,77	3,6	0,1	5,09	913,54686
50 - 60	25,73	19,44	24,03	5,03	0,06	4,59	1023,4556

		rotação		F O 250			densidade [kg/m ³]
prof. [10 ⁻² m]		massa [10 ⁻³ kg]					
	úmido	seco	parafinado	imerso	resíduo	parafina	
0 -10	23,79	18,6	24,46	5	0,26	5,86	956,15351
10 - 20	27,62	21,71	24,8	6,99	0,11	3,09	1219,2328
20 - 30	49,84	38,63	44,37	11,6	0,25	5,74	1179,0708
30 -40	19,52	15,09	17,18	5	0,12	2,09	1239,1723
40 - 50	14,53	11,09	14,04	2,6	0,46	2,95	969,70672
50 - 60	15,6	12,01	14,92	2,7	0,15	2,91	983,09698

		rotação		G O 250			densidade [kg/m ³]
prof. [10 ⁻² m]		massa [10 ⁻³ kg]					
	úmido	seco	parafinado	imerso	resíduo	parafina	
0 -10	27,5	21,92	24,06	7,9	0,14	2,14	1356,652
10 - 20	57,78	45,43	50,72	14,8	0,27	5,29	1264,9794
20 - 30	25,18	19,27	21,83	6,52	0,32	2,56	1258,908
30 -40	44,71	34,16	37,77	9,3	0,22	3,61	1200,0427
40 - 50	45,12	34,47	38,14	9,2	0,2	3,67	1191,2669
50 - 60	32	24,26	28,78	5,9	0,18	4,52	1060,567

		rotação		H O 250			densidade [kg/m ³]
prof. [10 ⁻² m]		massa [10 ⁻³ kg]					
	úmido	seco	parafinado	imerso	resíduo	parafina	
0 -10	23,23	17,97	20,93	5,34	0,29	2,96	1152,9256
10 - 20	61,05	45,83	50,95	15,77	0,21	5,12	1302,9572
20 - 30	58,58	45,83	50,69	13,19	0,37	4,86	1222,3241
30 -40	49,74	38,35	43,56	10,75	0,18	5,21	1169,0745
40 - 50	35,83	27,62	31,46	7,71	0,43	3,84	1163,1738
50 - 60	20,42	7,99	9,53	1,98	0,28	1,54	1058,5382

300 rpm

prof. [10 ⁻² m]	rotação		A O 300				densidade [kg/m ³]
	úmido	seco	massa parafinado	[10 ⁻³ kg] imerso	resíduo	parafina	
0 -10	56,15	43,91	51,37	16,6	0,09	7,46	1263,20
10 - 20	57,83	45,73	51,11	17,51	0,11	5,38	1361,27
20 - 30	45,34	35,43	40,17	7,45	0,2	4,74	1083,01
30 -40	21,35	16,65	20,71	6,03	0,33	4,06	1134,57
40 - 50	18,23	14,1	17,6	4,9	0,13	3,5	1110,60
50 - 60	7,47	5,71	6,59	2,18	0,43	0,88	1295,10

		rotação		B O 300				
prof.	massa						densidade	
[10 ⁻² m]	úmido	seco	parafinado	[10 ⁻³ kg]	imerso	resíduo		parafina
0 -10	36,28	28,37	32,67	10,67	0,07	4,3	1289,849	
10 - 20	31,59	24,93	28,88	8,77	0,06	3,95	1239,975	
20 - 30	28,8	22,41	26,44	8,52	0,02	4,03	1250,8968	
30 -40	14,78	11,54	14,06	4,27	0,05	2,52	1179,1193	
40 - 50	14,23	10,98	13,97	3,71	0,07	2,99	1070,5511	
50 - 60	18,04	13,9	15,88	4,44	0,06	1,98	1215,2883	

prof. [10 ⁻² m]	rotação		C O 300				densidade [kg/m ³]
			massa	[10 ⁻³ kg]			
	úmido	seco	parafinado	imerso	resíduo	parafina	
0 -10	27,73	21,78	24,4	8,08	0,08	2,62	1334,8169
10 - 20	24,91	18,99	22,27	7,89	0,02	3,28	1320,947
20 - 30	16,17	20,02	23,38	8,73	0,1	3,36	1366,9304
30 -40	23,2	17,85	20,68	7,78	0,07	2,83	1384,0866
40 - 50	26,81	21,69	24,29	6,96	0,16	2,6	1251,813
50 - 60	60,03	47,02	52,57	16,89	0,13	5,55	1318,072

		rotação		D O 300			
prof.			massa	[10 ⁻³ kg]			densidade
[10 ⁻² m]	úmido	seco	parafinado	imerso	resíduo	parafina	[kg/m³]
0 -10	21,35	17,68	20,16	5,85	0,06	2,48	1235,7576
10 - 20	36,18	28,6	31,85	9,85	0,3	3,25	1300,2313
20 - 30	23,6	18,43	21,16	5,33	0,12	2,73	1164,4869
30 -40	5,78	4,42	5,34	1,54	0,12	0,92	1163,4971
40 - 50	23,46	18,04	21,17	3,47	0,12	3,13	1019,4261
50 - 60	26,93	20,84	23,74	6,96	0,3	2,9	1242,2132

		rotação		E O 300				
prof.				massa	[10 ⁻³ kg]		densidade	
[10 ⁻² m]		úmido	seco	parafinado	imerso	resíduo	parafina	[kg/m ³]
0 -10		18,24	14,14	17,03	4,26	1,52	2,89	1107,5845
10 - 20		48,11	27,02	41,05	12,34	0,65	14,03	941,68966
20 - 30		9,19	7,15	8,96	1,75	0,18	1,81	991,97811
30 -40		9,19	7,15	8,96	1,75	0,18	1,81	991,97811
40 - 50		13,05	10,05	11,42	3,5	0,04	1,37	1269,2038
50 - 60		6,41	5,13	5,96	1,06	0,02	0,83	1047,1524

		rotação		F O 300			
prof.			massa	[10 ⁻³ kg]			densidade
[10 ⁻² m]	úmido	seco	parafinado	imerso	resíduo	parafina	
0 -10	12,4	9,87	12,29	2,74	0,17	2,42	1033,8233
10 - 20	37,36	29,41	35,93	8,37	0,21	6,52	1067,4304
20 - 30	20,63	16,08	20,25	4,23	0,19	4,17	1004,0601
30 -40	8,05	6,28	8,29	1,19	0,17	2,01	884,80869
40 - 50	17,47	13,64	15,95	3,37	0,15	2,31	1084,5005
50 - 60	41,33	32,03	37,19	9,51	0,18	5,16	1157,413

		rotação		G O 300			
prof.			massa	[10 ⁻³ kg]			densidade
[10 ⁻² m]	úmido	seco	parafinado	imerso	resíduo	parafina	[kg/m ³]
0 -10	31,53	24,55	32,73	5,48	0,08	8,18	901,24322
10 - 20	13,91	10,9	13,54	2,99	0,2	2,64	1033,4868
20 - 30	9,11	7,34	9,18	1,87	0,11	1,84	1004,4084
30 -40	15,09	11,94	14,87	3,76	0,09	2,93	1075,0489
40 - 50	16,74	12,83	17,22	2,8	0,18	4,39	890,06279
50 - 60	16,34	12,74	15,7	2,98	0,26	2,96	1001,8531

		rotação		H O 300			
prof.			massa	[10 ⁻³ kg]			densidade
[10 ⁻² m]	úmido	seco	parafinado	imerso	resíduo	parafina	
0 -10	15,22	12,12	14,19	3,89	0,03	2,07	1176,9839
10 - 20	33,98	26,91	30,91	7,94	0,1	4	1171,7738
20 - 30	36,95	28,8	33,55	7,68	0,06	4,75	1113,5048
30 -40	32,06	24,86	29,01	6,28	0,23	4,15	1093,9493
40 - 50	27,25	21,06	25,02	5,63	0,18	3,96	1086,3941
50 - 60	10,28	7,91	10,95	1,62	0,06	3,04	848,13557

350 rpm

prof. [10 ⁻² m]	rotação		A O 350				densidade [kg/m ³]
	úmido	seco	massa parafinado	[10 ⁻³ kg] imerso	resíduo	parafina	
0 -10	39,9	31,57	37,7	11,54	0,09	6,13	1207,1449
10 - 20	35,92	28,46	31,99	10,19	0,08	3,53	1305,7592
20 - 30	21,76	16,79	20,75	5,68	0,07	3,96	1114,4867
30 -40	14,1	10,08	11,97	3,49	4,61	1,89	1188,9984
40 - 50	24,26	18,95	22,58	6,28	0,06	3,63	1162,8886
50 - 60	15,65	12,07	14,68	3,67	0,2	2,61	1096,5892

prof. [10 ⁻² m]	rotação		B O 350				densidade [kg/m ³]
	úmido	seco	massa parafinado	[10 ⁻³ kg] imerso	resíduo	parafina	
0 -10	15,64	12,32	14,83	3,73	0,1	2,51	1110,2122
10 - 20	24,21	19,27	21,78	7,09	0,05	2,51	1312,0467
20 - 30	14,81	11,64	14,96	5,46	0,08	3,32	1225,779
30 -40	49,41	38,13	43,21	13,29	0,14	5,08	1274,659
40 - 50	43,77	33,83	37,67	13,21	0,1	3,84	1383,3359

prof. [10 ⁻² m]	rotação		C O 350				densidade [kg/m ³]
	úmido	seco	massa parafinado	[10 ⁻³ kg] imerso	resíduo	parafina	
0 -10	31,05	24,72	27,28	8,34	0,12	2,56	1305,3867
10 - 20	38,56	30,78	33,98	11,8	0,03	3,2	1387,9778
20 - 30	20,73	16,3	19,53	5,54	0,05	3,23	1165,442
30 -40	27,52	21,32	24,32	6,64	0,08	3	1206,1288
40 - 50	35,45	27,5	30,79	8,88	0,13	3,29	1255,3616
50 - 60	5,37	4,16	5,11	1,27	0,08	0,95	1083,6562

prof. [10 ⁻² m]	rotação		D O 350				densidade [kg/m ³]
	úmido	seco	massa parafinado	[10 ⁻³ kg] imerso	resíduo	parafina	
0 -10	18,19	14,38	16,83	4,61	0,13	2,45	1177,0436
10 - 20	23,79	18,71	21,77	4,86	0,07	3,06	1106,6871
20 - 30	30,56	23,72	26,91	7,02	0,15	3,19	1192,7894
30 -40	10,44	8,07	19,35	2,75	0,12	11,28	486,54271
40 - 50	49,95	38,7	43,51	11,86	0,09	4,81	1222,9726

prof. [10 ⁻² m]	rotação		E O 350				densidade [kg/m ³]
	úmido	seco	massa [10 ⁻³ kg]		resíduo	parafina	
			parafinado	imerso			
0 -10	56,11	44,53	48,4	16,01	0,17	3,87	1375,0049
10 - 20	26,04	20,27	22,26	6,4	0,2	1,99	1278,2511
20 - 30	26,04	20,27	22,26	6,4	0,2	1,99	1278,2511
30 -40	88,19	67,46	72,26	22,92	0,27	4,8	1367,4079
40 - 50	52,73	40,26	44,08	12,55	0,19	3,82	1277,0655
50 - 60	33,64	25,91	28,68	7,2	0,28	2,77	1206,4257

prof. [10 ⁻² m]	rotação		F O 350				densidade [kg/m ³]
	úmido	seco	massa [10 ⁻³ kg]		resíduo	parafina	
			parafinado	imerso			
0 -10	34,32	27,02	30,02	8,6	0,22	3	1261,6507
10 - 20	30,8	24,25	26,65	8,25	0,09	2,4	1318,1418
20 - 30	37,54	29,65	32,64	10,15	0,01	2,99	1318,5748
30 -40	15,4	11,18	12,88	3,13	2,79	1,7	1146,9075
40 - 50	56,69	43,16	46,79	16,09	0,37	3,63	1406,0634
50 - 60	11,37	8,71	9,97	2,75	0,05	1,26	1206,6248

prof. [10 ⁻² m]	rotação		G O 350				densidade [kg/m ³]
	úmido	seco	massa [10 ⁻³ kg]		resíduo	parafina	
			parafinado	imerso			
0 -10	26,11	20,01	22,63	6,31	0,08	2,62	1226,34
10 - 20	45,19	34,85	39,71	11,05	0,17	4,86	1216,2288
20 - 30	16,57	12,74	13,98	4,29	0,07	1,24	1314,9601
30 -40	53,37	38,72	44,58	12,84	0,58	5,86	1220,1831
40 - 50	43,23	33,06	36,34	8,25	0,45	3,28	1177,0968
50 - 60	44,78	34,39	37,53	9,89	0,43	3,14	1244,3815

prof. [10 ⁻² m]	rotação		H O 350				densidade [kg/m ³]
	úmido	seco	massa [10 ⁻³ kg]		resíduo	parafina	
			parafinado	imerso			
0 -10	33,49	26,61	29,55	8,98	0,38	2,94	1293,8542
10 - 20	42,43	32,97	36,79	9,97	0,73	3,82	1229,5174
20 - 30	57,33	44,31	48,35	15,6	0,48	4,04	1353,1781
30 -40	13,08	9,99	11,63	2,94	0,29	1,64	1149,8586
40 - 50	58,69	44,6	48,72	11,99	0,45	4,12	1214,4303
50 - 60	38	28,85	31,84	7,38	0,48	2,99	1179,6503

13. Anexo 5 - Dados dos ensaios de compressão triaxial

VAS:

de- forma- ção m10 ⁻⁵	TENSÃO [kN/m ²]											
	Profundidade [10 ⁻² m]											
	0 - 30						30 - 60					
	pressão de confinamento [kN/m ²]											
	49,05	98,1	196,2	49,05	98,1	196,2	49,05	98,1	196,2	49,05	98,1	196,2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	20	6	4	15	4	26	17	24	34	25	14	25
40	34	11	7	28	6	30	30	33	34	35	36	43
60	46	32	9	40	7	30	40	41	56	42	47	56
80	58	50	13	50	8	35	47	48	71	48	54	68
100	70	67	16	58	22	38	55	52	79	51	59	76
120	81	82	21	64	45	47	60	57	85	53	62	84
140	90	97	24	70	63	40	63	60	94	56	64	92
160	99	110	26	73	77	62	66	63	103	57	65	98
180	107	119	39	77	90	86	68	65	110	58	67	103
200	118	127	66	81	101	107	69	67	115	59	68	108
220	126	134	87	84	109	120	71	69	120	60	68	112
240	132	139	105	88	116	132	72	70	125	61	69	116
260	138	143	122	92	122	141	72	72	130	62	69	119
280	145	140	139	97	127	149	73	73	134	61	70	122
300	148	150	155	100	130	156	74	74	137	62	70	125
320	151	152	169	103	133	162	74	75	139	63	71	127
340	154	154	181	104	136	167	75	75	142	63	71	129
360	155	155	190	105	140	171	75	76	144	64	71	130
380	157	157	202	106	141	175	75	76	145	64	72	131
400	158	158	211	106	143	179	75	77	146	64	71	133
420	159	160	218	106	144	182	75	78	147	65	72	133
440	159	161	224	106	145	186	76	78	148	65	72	135
460	159	162	229	106	145	189	76	78	149	65	72	136
480	160	163	233	107	146	190	76	78	150	66	72	137
500	160	163	237	107	146	192	76	78	151	67	72	137
520	162	164	239	108	146	194	76	79	152	66	72	137
540	162	165	241	109	146	195	76	79	152	67	72	136
560	163	166	242	110	146	197	76	79	152	66	72	137
580	163	166	243	111	146	198	76	79	153	67	73	137
600	164	166	244	111	146	199	76	79	153	66	73	137
620	165	166	246	112	146	199	75	79	153	66	73	137
640	165	166	247	113	146	200	76	80	153	66	73	138
660	166	167	249	114	146	201	76	80	152	66	73	139
680	165	167	250	115	146	201	76	79	151	67	73	139
700	165	166	250	115	146	203	75	79	150	67	73	139
720	165	167	252	116	145	203	75	79	150	67	73	139
740	165	166	254	116	145	204	75	79	149	67	73	138
760	166	167	255	117	144	205	75	79	149	67	73	137
780	166	166	256	117	144	205	75	79	148	67	73	137
800	166	166	258	117	144	205	76	78	148	68	72	137
umidade	20,66	20,87	20,86	20,90	21,56	21,55	23,05	23,19	23,05	23,81	23,44	23,37
Testemunha												

de- forma- ção m10 ⁻⁵	TENSÃO [kN/m ²]												
	Profundidade [10 ⁻² m]												
	0 - 30						30 - 60						
	pressão de confinamento [kN/m ²]												
	49,05	98,1	196,2	49,05	98,1	196,2	49,05	98,1	196,2	49,05	196,2	98,1	147,15
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	14	12	36	20	9	26	14	10	22	9	19	12	10
40	23	22	41	26	9	29	20	12	24	13	21	16	10
60	32	31	39	31	12	32	25	13	27	15	34	20	11
80	38	38	53	36	30	35	30	14	28	17	41	24	12
100	45	44	61	41	47	59	33	27	28	19	46	26	24
120	51	50	69	45	62	75	37	47	31	21	52	30	31
140	57	55	76	49	86	89	39	60	47	22	57	32	37
160	62	60	83	52	92	101	41	68	58	22	61	35	41
180	66	64	87	55	105	111	43	70	66	23	65	37	46
200	71	68	91	57	113	119	44	77	73	24	69	38	49
220	75	72	95	59	120	126	45	80	80	25	74	40	53
240	79	76	99	61	124	132	46	84	87	26	77	42	57
260	81	79	102	63	127	138	47	86	93	26	80	43	60
280	80	81	105	64	129	143	48	89	98	26	83	45	63
300	86	85	108	66	130	148	49	90	102	26	85	46	66
320	87	87	110	66	131	151	50	91	107	26	88	47	69
340	88	89	112	67	133	156	50	93	110	27	91	49	71
360	89	91	114	69	133	160	50	94	114	27	93	49	74
380	90	93	115	70	134	161	51	96	118	27	95	51	75
400	91	94	117	71	134	164	51	97	120	27	97	52	77
420	91	96	119	71	135	167	52	98	122	27	99	53	79
440	93	97	121	72	135	168	53	99	124	27	101	54	81
460	92	98	122	72	135	170	53	99	126	27	102	54	82
480	92	99	124	72	135	173	53	100	128	27	103	55	84
500	92	100	124	72	136	174	54	100	130	27	104	56	86
520	92	100	124	73	136	175	54	100	133	27	105	57	87
540	92	101	126	74	136	176	55	101	134	27	106	57	88
560	92	102	127	75	136	177	55	101	136	27	107	57	90
580	93	102	127	76	136	178	55	101	137	27	108	58	90
600	93	102	128	77	136	179	56	101	137	27	108	58	91
620	93	102	128	77	137	179	56	101	138	27	109	58	92
640	94	103	129	78	137	179	56	102	138	27	110	59	93
660	94	104	129	78	137	180	57	103	138	27	110	59	94
680	94	104	130	79	138	180	57	103	139	27	110	60	94
700	94	104	130	79	138	180	57	104	139	27	111	60	95
720	95	104	131	80	138	180	58	104	139	27	111	60	95
740	95	105	131	81	138	180	58	105	139	26	111	60	96
760	95	104	132	81	139	180	58	104	140	26	111	60	96
780	95	104	132	81	139	180	58	104	140	26	111	60	96
800	95	105	132	82	139	180	58	104	140	26	111	60	97
umidade	23,53	23,07	24,59	22,37	22,71	22,81	23,08	22,91	22,98	22,99	22,75	22,97	23,14

14. Anexo 6 - Dados dos ensaios de adensamento

Testemunha

			leitura do extensômetro[10 ⁻⁵ m]														
peso	fat.	pressão	Tempo [h:min:seg]														
[kgf]	mult.	[kN/m ²]	0:00:15	0:00:28	0:01	0:02	0:04	0:09	0:16	0:25	0:36	0:49	1:04	2:00	4:00	8:00	24:00
0,5	10	19,6	968	967	966	965	964	964	963	963	962	962	962	961	961	960	960
1	10	39,2	943	942	941	939	938	937	937	936	936	936	935	935	934	933	933
2	10	78,5	910	908	905	903	902	900	898	897	986	986	895	894	893		890
4	10	157,0	943	939	934	830	828	825	822	821	819	818	818	816	815	813	811
8	10	313,9	830	825	820	815	811	807	804	802	801	800	790	775	696	694	692

altura inicial	2E-05	m
umidade	20,9	[%]

			leitura do extensômetro[10 ⁻⁵ m]														
peso	fat.	pressão	Tempo [h:min:seg]														
[kgf]	mult.	[kN/m ²]	0:00:15	0:00:28	0:01	0:02	0:04	0:09	0:16	0:25	0:36	0:49	1:04	2:00	4:00	8:00	24:00
0,3	10	9,8	999	995	990	988	987	986	986	986	986						
0,5	10	19,6	974	973	972	971	970	970	969	969	969	968	968	967	967	966	965
1	10	39,2	951	950	949	948	947	946	945	945	944	944	943	943	942	941	940
2	10	78,5	913	911	908	906	903	901	899	898	897	896	896	894	893	892	890
4	10	157,0	830	825	821	817	813	809	807	805	804	803	802	801	798	797	796
8	10	313,9	712	707	701	697	693	690	687	686	685	684	683	685	680	678	677

altura inicial	2E-05	m
umidade	20,8	[%]

			leitura do extensômetro[10 ⁻⁵ m]														
peso	fat.	pressão	Tempo [h:min:seg]														
[kgf]	mult.	[kN/m ²]	0:00:15	0:00:28	0:01	0:02	0:04	0:09	0:16	0:25	0:36	0:49	1:04	2:00	4:00	8:00	24:00
0,3	10	9,8	952	952	951	951	950	949	949	948	948	947	947	947	945		945
0,5	10	19,6	934	933	932	931	930	929	928	928	927	927	927	926	925	924	923
1	10	39,2	902	900	898	895	893	891	890	889	888	887	887	885	884	883	882
2	10	78,5	828	823	819	815	811	807	804	803	801	800	799	798	797	795	792
4	10	157,0	711	751	699	695	691	687	684	682	681	680	679	677	674	673	671
8	10	313,9															

altura inicial	2E-05	m
umidade	21,0	[%]

VAS

leitura do estensômetro[10 ⁻⁵ m]																		
peso	fat.	pressão	Tempo [h:min:seg]															
[kgf]	mult.	[kN/m ²]	0:00:15	0:00:28	0:01	0:02	0:04	0:09	0:16	0:25	0:36	0:49	1:04	2:00	4:00	8:00	24:00	
0,5	10	19,6	977	976	975	972	971	971	971	970	970	970	970	970	969	969	968	
1	10	39,2	957	956	955	952	950	949	949	948	948	948	947	947	946	946	945	
2	10	78,5	928	926	923	921	919	916	914	912	912	909	908	908	907		905	
4	10	157,0	858	850	846	842	838	834	832	830	828	827	825	824	822	821	819	
8	10	313,9	836	832	826	822	818	814	812	810	808	807	806	805	704	701	699	

altura inicial	2E-05	m
umidade	20,9	[%]

leitura do estensômetro[10 ⁻⁵ m]																		
peso	fat.	pressão	Tempo [h:min:seg]															
[kgf]	mult.	[kN/m ²]	0:00:15	0:00:28	0:01	0:02	0:04	0:09	0:16	0:25	0:36	0:49	1:04	2:00	4:00	8:00	24:00	
0,3	10	9,8	996	995	995	995	994	994	994	994	994							
0,5	10	19,6	988	987	987	986	986	985	985	985	985	984	984	983	983	982	982	
1	10	39,2	974	973	973	972	972	971	971	969	968	968	968	967	967	966	966	
2	10	78,5	956	955	954	953	953	951	951	950	950	949	948	948	947	946	945	
4	10	157,0	928	926	925	924	922	921	920	920	918	918	917	916	914	914	912	
8	10	313,9	867	862	859	853	849	845	842	840	839	837	835	834	831	830	827	

altura inicial	2E-05	m
umidade	22,17	[%]

leitura do estensômetro[10 ⁻⁵ m]																		
peso	fat.	pressão	Tempo [h:min:seg]															
[kgf]	mult.	[kN/m ²]	0:00:15	0:00:28	0:01	0:02	0:04	0:09	0:16	0:25	0:36	0:49	1:04	2:00	4:00	8:00	24:00	
0,5	10	19,6	988	988	987	987	987	986	986	986	985	984	984	984	983		983	
1	10	39,2	976	974	974	973	972	972	971	971	971	970	970	970	976	968	967	
2	10	78,5	951	950	949	948	947	945	944	944	943	942	942	941	941	940	939	
4	10	157,0	908	906	903	901	898	895	893	891	890	889	888	888	886	885	882	
8	10	313,9	810	804	798	794	790	787	784	782	781	780	779	777	775	774	772	

altura inicial	2E-05	m
umidade	20,04	[%]