

**UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO
GRANDE DO SUL – UNIJUÍ**

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA – DETEC

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE UM SOLO
RESIDUAL DE BASALTO ESTABILIZADO E
REFORÇADO**

LEANDRO BONAFÉ

Trabalho de Conclusão de Curso

Ijuí, Julho de 2004

LEANDRO BONAFÉ

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE UM SOLO RESIDUAL
DE BASALTO ESTABILIZADO E REFORÇADO**

Trabalho de Conclusão do Curso

Trabalho apresentado ao corpo docente do Programa de Graduação em Engenharia Civil do Curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para aprovação na disciplina e formação de nível superior no curso de Engenharia Civil.

Orientador

Dr. Eng. LUCIANO PIVOTO SPECHT

Ijuí

2004

LEANDRO BONAFÉ

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE UM SOLO RESIDUAL
DE BASALTO ESTABILIZADO E REFORÇADO**

Trabalho de Conclusão do Curso

**Aprovação na disciplina e formação de nível superior no curso de
Engenharia Civil**

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

M. Eng. Prof. Luis Eduardo Modler

Coordenador do Curso de Engenharia Civil da UNIJUÍ

Aprovado em Julho de 2004

Dr. Eng. Prof. Luciano Pivoto Specht

Orientador

M. Eng. Prof. Francisco Ripoli Filho

Banca Examinadora

M. Eng. Prof. Luis Eduardo Modler

Banca Examinadora

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e minha irmã.

AGRADECIMENTOS

Desejo expor os mais sinceros agradecimentos a todos que de alguma forma auxiliaram na realização deste trabalho. Seja através da orientação técnica, seja através do apoio, do incentivo e da amizade, muitas pessoas tiveram papel importante para a realização deste sonho.

Mesmo correndo o risco de um indesculpável esquecimento, julgo importante particularizar alguns agradecimentos:

Meus pais, Aires e Celi e a minha irmã Liana, sei que foram várias as dificuldades passadas, além de muitas horas de trabalho e preocupações. Espero agora, com esta conquista, poder ajudar e mostrar o quanto são importantes para mim, obrigado por tudo e saibam que amo muito vocês.

Ao Professor Luciano pela competência e dedicação demonstrada na orientação deste trabalho, pela amizade, compreensão em todos os momentos. Meus sinceros agradecimentos e admiração.

Aos amigos Ademir e Alencar pela amizade mantida, mesmo na ausência ao longo destes anos.

Aos colegas de “cafofo”, Alex, Camila, Carine, Débora e Jáx pelas bagunças e convívio.

A uma pessoa que ao longo dos anos mostrou-se companheira e amiga, dando-me força e ajuda nos momentos de dificuldades, saibas que será sempre especial em minha vida.

Aos colegas, Jacson, Ederli, Gláucio, Turíbio, Jean, Juliano, Tiago, Gustavo, Pablo e demais colegas, pela amizade conquistada nestes cinco anos de convivência, tenho certeza que será para sempre.

Aos laboratoristas, Salete e Luis pelo auxílio com os ensaios.

A secretária Cláudia por toda a amizade.

Por fim, agradeço a DEUS.

RESUMO

Na resolução de muitos problemas de engenharia, é necessário melhorar as características do solo, quer como material de fundação, quer como material de construção de aterros, barragens etc, de maneira a assegurar que o solo seja capaz de suportar as cargas aplicadas sem deformação excessiva, mantendo a sua resistência e estabilidade. As técnicas fundamentais de melhoria das propriedades dos materiais naturais são: drenagem, estabilização mecânica, estabilização química, estabilização granulométrica e reforço. Este trabalho tem como objetivo avaliar as técnicas de estabilização e reforço na melhoria das propriedades mecânicas do solo. Para tanto, foram estudados os comportamentos de misturas de solo-compactado, solo-cal, solo-fibra e solo-cal-fibra, onde foram realizados os seguintes ensaios laboratoriais: ensaio de compactação, cisalhamento direto e compressão simples. O aditivo químico utilizado foi a cal hidratada e o elemento de reforço foi fibra de polipropileno. Com o estudo, pode-se concluir que, com relação ao solo-natural, a adição da cal aumenta a umidade ótima e diminuiu a densidade máxima, também proporciona um aumento da coesão e ângulo de atrito, a adição da fibra diminuiu a umidade e aumenta a densidade, o ângulo de atrito e a coesão. Em relação ao tempo de cura, houve ganho da resistência média, sendo que a maior taxa de acréscimo de RCS ocorreu de 7 a 28 dias e a partir dos 28 dias há uma estabilização da curva. Com o aumento da porcentagem de cal aumenta a RCS, sendo que a maior taxa de ganho de resistência ocorreu de 7 a 11%. As metodologias estudadas apresentaram-se tecnicamente viáveis, sendo possível a imediata aplicação na prática de engenharia Geotécnica.

Palavras-chave:

Resistência do solo – estabilização – reforço.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS.....	11
LISTA DE QUADROS.....	12
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	14
1.2 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO.....	14
1.3 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DO ESTUDO.....	15
1.3.1 Objetivo Geral.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4 JUSTIFICATIVA.....	16
1.5 SISTEMATIZAÇÃO DO ESTUDO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	18
2.2 ESTABILIZAÇÃO.....	19
2.2.1 Estabilização Mecânica	19
2.2.2 Estabilização Química	21
2.2.3 Estabilização Granulométrica.....	22
2.3 REFORÇO.....	23
2.4 DRENAGEM.....	24
2.5 RESISTÊNCIA DO SOLO.....	25
2.5.1 Definição.....	25
2.5.2 Atrito.....	25
2.5.3 Coesão.....	26
2.5.4 Ensaio de cisalhamento direto.....	27

2.5.5	Ensaio de Compressão Simples	29
3	<i>METODOLOGIA</i>	30
3.1	CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO	30
3.2	PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS	30
3.2.1	Compactação.....	30
3.2.2	Cisalhamento Direto	31
3.2.3	Compressão Simples	31
3.3	MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA	33
3.3.1	Solo	33
3.3.2	Cal.....	34
3.3.3	Fibra	35
3.3.4	Água.....	36
3.4	PROCEDIMENTO DE ENSAIOS E DESCRIÇÃO DE EQUIPAMENTOS	36
3.4.1	Compactação.....	36
3.4.2	Cisalhamento Direto	37
3.4.3	Compressão Simples	41
4	<i>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</i>	44
4.1	COMPACTAÇÃO	44
4.1.1	Solo-Fibra	44
4.1.2	Solo-Cal.....	45
4.1.3	Solo-Cal-Fibra	46
4.1.4	Análise e sistematização.....	47
4.2	CISALHAMENTO DIRETO	50
4.2.1	Solo-Fibra	50
4.2.2	Solo-Cal.....	52
4.2.3	Solo-Cal-Fibra	55
4.2.4	Análise e sistematização.....	57
4.3	COMPRESSÃO SIMPLES	61
4.3.1	Solo-Compactado.....	61
4.3.2	Solo-Fibra	62
4.3.3	Solo-Cal.....	62
4.3.4	Solo-Cal-Fibra	63
4.3.5	Análise e sistematização.....	64
5	<i>CONSIDERAÇÕES FINAIS</i>	66
5.1	CONCLUSÃO	66
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	68
	<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	69
	<i>APÊNDICE A – Planilhas do Ensaio de Compactação</i>	72
	<i>APÊNDICE B – Planilhas do Ensaio de Cisalhamento Direto</i>	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curvas de compactação.....	20
Figura 2: Ensaio de cisalhamento direto: representação de resultado típico de ensaio....	28
Figura 3: Distribuição granulométrica.....	34
Figura 4: a) Fibras de polipropileno; b) Imagem de microscopia eletrônica (aumento de 90 x).....	35
Figura 5: Ensaio de Proctor.....	37
Figura 6: Esquema do ensaio de cisalhamento direto.....	38
Figura 7: Equipamento de cisalhamento direto.....	39
Figura 8: Acessórios do equipamento de cisalhamento direto.....	40
Figura 9: Seqüência de montagem da amostra na célula de cisalhamento direto.....	41
Figura 10: a) Molde para preparação de amostra para ensaio de compressão simples b) Prensa para romper corpos-de-prova de compressão simples.....	43
Figura 11: Curva de compactação de solo-fibra.....	45
Figura 12: Curva de compactação de solo-cal.....	46
Figura 13: Curva de compactação de solo-cal-fibra.....	47
Figura 14: Curvas de Compactação dos materiais estudados.....	48
Figura 15: Umidade ótima dos materiais estudados.....	49
Figura 16: Densidade máxima dos materiais estudados.....	49
Figura 17: Resultado do ensaio de cisalhamento para solo-fibra.....	50
Figura 18: Resultado do ensaio de cisalhamento para solo-fibra.....	51
Figura 19: Envoltória de ruptura para solo-fibra.....	52
Figura 20: Resultado do ensaio de cisalhamento para solo-cal.....	53
Figura 21: Resultado do ensaio de cisalhamento para solo-cal.....	53
Figura 22: Envoltória de ruptura para solo-cal.....	54
Figura 23: Resultado do ensaio de cisalhamento para solo-cal-Fibra.....	55
Figura 24: Resultado do ensaio de cisalhamento para solo-cal-Fibra.....	55
Figura 25: Envoltória de ruptura para solo-cal-fibra.....	56
Figura 26: Gráfico resumo $sN= 100$ kPa.....	57
Figura 27: Gráfico resumo $sN= 100$ kPa.....	57
Figura 28: Envoltórias de ruptura.....	58
Figura 29: Ângulo de atrito das misturas.....	59
Figura 30: Coesão das misturas.....	59
Figura 31: Valores de I_f para as misturas.....	61

Figura 32: Relação entre resistência à compressão e porcentagem de cal.....	64
Figura 33: Relação entre resistência à compressão e tempo de cura.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Conjunto de ensaios de Proctor.....	31
Tabela 2: Conjunto de ensaios de cisalhamento direto.....	31
Tabela 3: Conjunto de ensaios de compressão simples.....	32
Tabela 4: Resultado do ensaio de compactação de solo-fibra.....	45
Tabela 5: Resultado do ensaio de compactação de solo-cal.....	46
Tabela 6: Resultado do ensaio de compactação de solo-cal-fibra.....	47
Tabela 7: Resultado do ensaio de compactação.....	48
Tabela 8: Resultado do ensaio de cisalhamento direto de solo-fibra.....	51
Tabela 9: Resultado do ensaio de cisalhamento direto de solo-cal.....	54
Tabela 10: Resultado do ensaio de cisalhamento direto de solo-cal-fibra.....	56
Tabela 11: Resultado do ensaio de cisalhamento direto.....	58
Tabela 12: Resultado do ensaio de cisalhamento direto.....	60
Tabela 13: Resultado do ensaio de compressão simples.....	62
Tabela 14: Resultado do ensaio de compressão simples.....	62
Tabela 15: Resultado do ensaio de compressão simples.....	63
Tabela 16: Resultado do ensaio de compressão simples.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Propriedades físicas do solo.....	33
Quadro 2: Características da cal usada na pesquisa.....	34
Quadro 3: Características da fibra usada na pesquisa.....	35

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BNH – Banco Nacional de Habitação

TRB – Transportation Research Board

ϕ' = Ângulo de Atrito

c' = Coesão

T = Tensão

RCS = Resistência à compressão simples

ABNT = Associação brasileira de normas técnicas

σ_N = Tensão normal

If = Índice de fragilidade

C V = Coeficiente de Variação

CP's = Corpos de prova

1 INTRODUÇÃO

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Com a finalidade de se conhecer os parâmetros de compactação, resistência ao cisalhamento e de compressão simples de um solo residual de basalto estabilizado e reforçado, realizou-se conjuntos de ensaios de compactação, cisalhamento direto e resistência à compressão simples em amostras preparadas em laboratório.

1.2 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO

Qual a influência da estabilização mecânica, química e de reforço fibroso nos parâmetros de compactação, resistência ao cisalhamento e compressão simples de um solo residual de basalto?

1.3 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DO ESTUDO

1.3.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo verificar o efeito da estabilização mecânica, estabilização química e reforço nos parâmetros de resistência ao cisalhamento de um solo residual de basalto encontrado na cidade de Ijuí, visando o seu emprego em obras geotécnicas.

1.3.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos foram eleitos:

Determinar os parâmetros de compactação (densidade máxima aparente seca e umidade ótima);

Determinar os parâmetros de resistência ao cisalhamento (ângulo de atrito e coesão);

Determinar os parâmetros de compressão simples (tensão admissível);

Verificar a influência da porcentagem da cal na resistência à compressão simples;

Verificar a influência do tempo de cura para as amostras que possuem a cal;

Verificar para as propriedades de engenharia medidas, a influência da estabilização mecânica, química e reforço, determinando o potencial de utilização de cada técnica.

Para atingir os objetivos, usou-se solo residual estabilizado mecanicamente, estabilizado quimicamente, solo residual reforçado e solo residual estabilizado e reforçado.

1.4 JUSTIFICATIVA

Considerando que o solo é o material de construção mais barato e abundante na natureza, é necessário o conhecimento de suas propriedades, para que se possa aliar segurança à economia. Uma vez que nem sempre o solo, na sua condição de campo, pode ser usado como material de construção ou como suporte para estruturas de engenharia. Assim, torna-se imprescindível o conhecimento de técnicas e processos que levem à melhoria de suas propriedades.

A compactação é empregada em diversas obras de engenharia, como os aterros para as diversas utilidades. O tipo de obra e de solo disponível vão ditar o processo de compactação a ser empregada, a umidade em que o solo deve se encontrar na ocasião e a densidade a ser atingida, tendo como objetivos reduzir futuros recalques, aumentar a rigidez e a resistência do solo.

A técnica de reforço de solos, pela inclusão de fibras e estabilização com cal, vem sendo objeto de pesquisas em vários países, ao longo dos últimos anos. Esta adição é usada em base de rodovias ou em fundações de edificações. Resultados de ensaios de laboratório e de campo mostram que a inserção de determinados tipos de fibra, em solos, altera a rigidez, a resistência e o comportamento pós-pico dos materiais.

Dessa forma torna-se clara a importância do estudo das técnicas de melhoramento do solo para obras de engenharia, proporcionando maior segurança, confiabilidade e menores custos.

1.5 SISTEMATIZAÇÃO DO ESTUDO

O trabalho está organizado da seguinte forma:

Neste primeiro capítulo, apresenta-se a delimitação do tema, seguida da questão que fundamenta o estudo, dos objetivos gerais e específicos, justificativa e proposta de sistematização.

No segundo capítulo, a partir do referencial teórico, são comentados temas que envolvem o estudo, como estabilização, reforço, drenagem e resistência do solo.

No terceiro capítulo, apresenta-se a metodologia utilizada, o método escolhido para o estudo, a forma de coleta de dados, os materiais escolhidos para a pesquisa e os procedimentos de ensaio e descrição de equipamentos.

No quarto capítulo, são apresentados e analisados os resultados de cada ensaio.

O quinto capítulo mostra as considerações finais do trabalho, apresentando as principais contribuições do mesmo, juntamente com sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Na resolução de muitos problemas de engenharia é necessário melhorar as características do solo, quer como material de fundação, quer como material de construção de aterros, barragens etc, de maneira a assegurar que o solo seja capaz de suportar as cargas aplicadas sem deformação excessiva, mantendo a sua resistência e estabilidade.

As técnicas fundamentais de melhoria das propriedades dos materiais naturais são: drenagem, estabilização mecânica, estabilização química, estabilização granulométrica e reforço.

Neste capítulo, está documentada uma revisão da literatura sobre solos melhorados, abordando a estabilização e as modificações nas propriedades mecânicas do solo com a adição destes materiais, juntamente com uma revisão a respeito das propriedades mecânicas estabelecidas com o uso de fibras, que são utilizadas como elemento de reforço na engenharia.

2.2 ESTABILIZAÇÃO

Segundo Capper e Cassie (1970) o termo estabilização compreende qualquer processo que aumente ou mantenha a resistência natural do solo. Nesse sentido, inclui a compactação, drenagem e estabilização dos taludes pelo arrelvamento ou plantação de árvores. Mais vulgarmente, o termo designa apenas melhoramento das propriedades dos solos pelo tratamento com aditivos. Os melhores materiais são aqueles que devem a sua resistência não só ao atrito interno como também à coesão.

Inglês e Metcalf (1972) complementam afirmando que o solo natural é um material complexo e variável, mas, devido a sua disponibilidade e seu baixo custo de obtenção, oferece grandes oportunidades para uso como um material de engenharia, porém três decisões devem ser tomadas:

- a) aceitar o material do local como ele é, e projetar considerando e conhecendo as restrições impostas por sua qualidade;
- b) remover o material do local e substituir por um material com propriedades melhores;
- c) alterar as propriedades do solo, para se criar um material novo e capaz de atender às exigências.

2.2.1 Estabilização Mecânica

A estabilização mecânica é feita por meio de compactação, a qual resulta o aumento da massa específica aparente de um solo, pela aplicação de pressão, impacto ou vibração, o que faz com que as partículas constituintes do material entrem em contato mais íntimo pela expulsão de ar, ocorrendo assim a redução da percentagem de vazios (BRASIL, 1996; PINTO, 2000).

Segundo Brasil (1996), o objetivo da compactação é aumentar a resistência ao cisalhamento e diminuir a sua deformabilidade, isto é, aumentar o módulo de elasticidade ou

deformação, o que se traduz pelo termo estabilidade, e diminuir a absorção de água. O que significa a maior permanência das condições, obtidas imediatamente após a compactação.

É de grande importância estudar a resistência do solo compactado na umidade ótima, pois é neste estado de lubrificação que as partículas de solo melhor se acomodam, se compactar com umidade baixa, o atrito entre as partículas é muito alto, dificultando significativamente a redução dos vazios, porém com umidade elevada a água provoca um efeito de lubrificação entre as partículas, que deslizam entre si, acomodando-se num arranjo mais compacto (BRASIL, 1996).

Para tal, Bonafé (2003) estudou o comportamento do mesmo solo desta pesquisa nas energias de compactação normal, intermediária e modificada, conforme mostra a Figura 1. Com este estudo, verificou que quanto maior a energia, maior é a Densidade Aparente Seca ($13,65 \text{ kN/m}^3$ normal, $14,60 \text{ kN/m}^3$ intermediário e 15 kN/m^3 modificado), menor a umidade ótima, (32% normal, 30% intermediário e 29% modificado), e maior o ângulo de atrito e a coesão, (26 kPa normal, 36 kPa intermediário e 41 kPa modificado), (30° normal, 32° intermediário e 35° modificado).

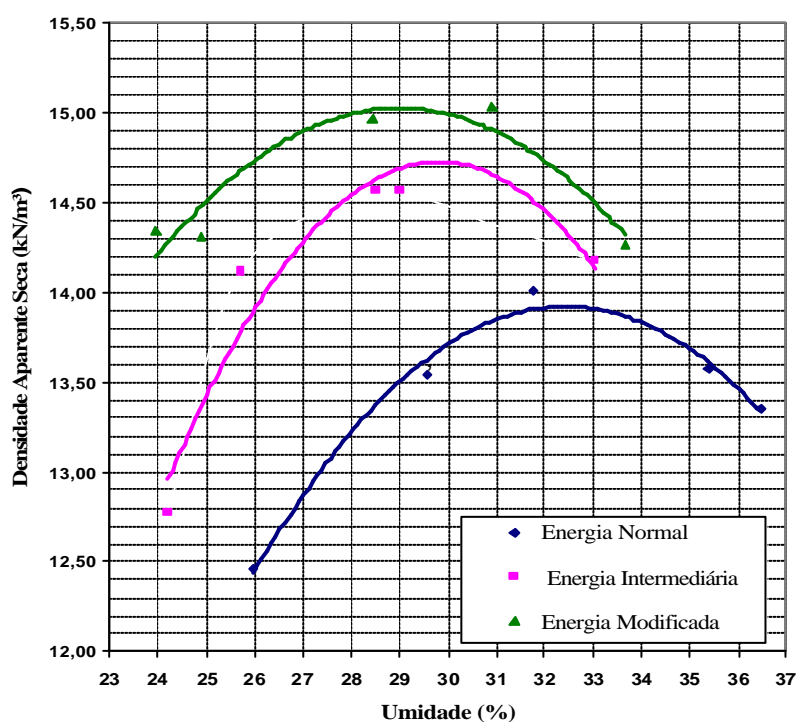


Figura 1: Curvas de compactação

Fonte: Bonafé 2003

Viecili (2003) estudou a resistência ao cisalhamento do mesmo solo desta pesquisa visando a sua utilização como suporte de fundações superficiais. Observou um padrão de valores de ângulo de atrito em torno de 20 a 23° para pico e os valores de coesão entre 13 a 30 kPa.

2.2.2 Estabilização Química

A estabilização química é obtida através de misturas de solo com alguns componentes químicos, por exemplo, a cal ou o cimento.

A cal hidratada é um pó seco obtido pela hidratação da cal virgem, constituída essencialmente de hidróxido de cálcio ou uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio (NBR–7175, 1992).

Casanova (2004) comenta que, no Brasil, o solo-cimento começou a ser empregado em construções em 1948 para confecção de bases e sub-bases de pavimentos de estradas. No entanto, só foi amplamente aplicado em moradias por volta de 1978, quando o antigo BNH aprovou a técnica para construções de habitações populares, tendo uma redução de custos de 20 a 40%, comparando com a alvenaria tradicional.

Conceitua-se solo-cal como o produto da mistura compactada de solo, cal e água, produzindo um novo material, que devido a sua alta resistência, baixa deformabilidade, duravel à água, a efeitos térmicos e ao congelamento, adapta-se bem à aplicação na engenharia civil. A adição de agentes cimentantes é uma técnica de tratamento de solos que visa melhorar suas propriedades geotécnicas. Esta técnica está sendo muito utilizada para pavimentação, controle de erosão, estabilização de encostas e reforço de camadas superficiais de solo.

O solo-cal possui muitas vantagens quando aplicado como base de pavimentos semi-rígidos: é resistente e econômico, minimiza pressões no subleito, é pouco deformável, quando submetido a carregamento e não perde resistência na presença de água. Entretanto, é

necessário que se leve em consideração o aspecto da reflexão de trincas no revestimento betuminoso, fator este que tem desmotivado o uso deste tipo de material em pavimentos (KUHLMAN, 1994).

Nardi (2003) avaliou todo o intervalo da curva de compactação para uso exclusivo em pavimentação. O estudo foi desenvolvido em função da estabilização química de uma mistura de solo tipo A-3 (areia fina), brita e um produto cimentante em corpos-de-prova compactados na energia modificada e em diversos pontos da curva de compactação. Comprovou ser a razão entre a tração e a compressão uma função do teor de umidade e do tempo de cura, variando a resistência à compressão de 7,37 a 11,14 vezes os valores da resistência à tração.

José Filho (2002) analisou o comportamento dos solos usados na construção de trechos experimentais com a adição de cal, sendo essa análise somente aos ensaios de limites de consistência e resistência à compressão simples para teores de cal de 3, 5, 7% e com tempos de cura de 7, 28, 63 dias para as três energias, normal, intermediária e modificada. Com a análise dos resultados, concluiu que os valores da resistência da mistura solo-cal cresceram mais com a influência da energia de compactação do que com o aumento do teor de cal, para os limites de consistência, com a adição da cal, o índice de plasticidade diminuiu, melhorando a trabalhabilidade.

Wesseling (2002) estudou a influência do tempo de cura na resistência à compressão simples de misturas de solo-cal, usando um teor de 11% de aditivo. Os resultados encontrados foram de 1167 kPa para 7 dias, aumentando para 2232 kPa para 90 dias. Observou também, que todas as misturas ganharam maior resistência nos períodos de 7 a 28 dias.

2.2.3 Estabilização Granulométrica

Para um solo que não tenha naturalmente boas características, poderá ser corrigido granulométricamente, adicionando-lhe ou retirando-lhe certas quantidades de frações constituintes, a fim de que a curva granulométrica resultante venha a cair dentro dos

limites exigidos ou tenha a mesma forma da curva de Talbot. Muitas vezes, não é possível uma simples correção, mas dispõe-se de solos em que predominam pedregulhos, areias ou siltes e argilas. Então será necessária a composição artificial do solo estabilizado pelo proporcionamento adequado de cada um deles e sua mistura, a fim de se obter a granulometria final desejada (VARGAS, 1914).

2.3 REFORÇO

O termo reforço significa adicionar compostos fibrosos com a finalidade de melhorar as características do solo. Uma técnica muito usada é a adição de fibra de polipropileno, sendo que existem muitos outros tipos de fibras, entre elas, fibra de poliéster, polietileno, poliamida, vegetais, metálicas, minerais (SPECHT, 2002).

O estudo de materiais compósitos com o reforços fibrosos tem difundido-se nas últimas décadas, principalmente em ensaios triaxiais e de cisalhamento direto, que possuem a limitação de serem capazes de avaliar o comportamento cisalhante dos materiais até uma taxa de deformação axial relativamente baixa, aproximadamente 20%. A resistência ao cisalhamento após grandes deslocamentos é chamada de resistência residual, sendo associada com o fluxo laminar de partículas de argila, que se orientam paralelamente ao plano de ruptura. Em areias e outros solos com partículas esféricas, não existe a possibilidade da existência de fluxo laminar, então a resistência residual é considerada como sendo a mesma que a resistência última, esta resistência na interface entre solos e materiais sólidos é relevante no que diz respeito à avaliação da estabilidade de estacas que exibem comportamento friccional, muros de arrimo, reforço de solos, tirantes, geomembranas, etc (VARGAS, 1914).

Entre os ensaios que podem ser empregados na definição da resistência após grandes deslocamentos ou resistência residual, estão o de cisalhamento direto com reversões múltiplas, o de cisalhamento torsional e o ensaio de *ring shear*. O uso de ensaios *ring shear* é pioneiro no estudo da resistência ao cisalhamento de solos reforçados com fibras, após grandes deslocamentos, mostrou ser uma ferramenta extremamente útil e interessante na avaliação desta característica, apesar de exibir a menor precisão de resultados (VARGAS, 1914).

Specht (2002) avaliou os efeitos da inclusão de dois tipos de fibras poliméricas de diferentes propriedades mecânicas, estudando as propriedades de deformabilidade e resistência à fadiga de um solo residual, artificialmente cimentado. Para os ensaios, usou cimento portland e dois tipos de fibras de polipropileno com características físicas diferentes. Os resultados, obtidos no ensaio de módulo de resiliência, demonstraram claramente a importância e o grande potencial de utilização deste tipo de material na engenharia rodoviária. Os resultados encontrados nos ensaios de fadiga mostraram que ambas as fibras aumentam a ductilidade e a tenacidade do compósito, auxiliando no controle da fissuração e aumentando a resistência a cargas dinâmicas, quando comparada a matriz sem reforço.

Vendruscolo (2003) estudou as propriedades de resistência e deformabilidade de misturas solo-cimento-fibra, onde analisou o efeito da influência da adição de fibras de polipropileno no comportamento tensão x deformação de um solo arenoso cimentado e não cimentado. Avaliou também, a resistência à compressão triaxial em função da porcentagem, comprimento e do diâmetro das fibras, também da porcentagem de cimento, da densidade relativa, da tensão de confinamento e da distribuição granulométrica. Concluiu que a porcentagem de cimento e a tensão de confinamento exercem grande influência no comportamento mecânico do material compósito; o efeito da inclusão de fibras é mais evidente para maiores comprimentos e maiores teores de fibras; a influência das fibras na resistência de pico e última do material depende também do diâmetro das fibras e da distribuição granulométrica.

2.4 DRENAGEM

De acordo com Capper e Cassie (1970) há uma grande importância do teor de umidade de qualquer solo utilizado pela engenharia. De uma maneira geral uma redução do teor de umidade contribui para melhorar as propriedades de um solo com interesse para a engenharia, pois um aumento do teor de umidade, geralmente é acompanhado pela diminuição da resistência e da capacidade de suporte. Isso depende da remoção do excesso de água do local, ou da possibilidade de evitar o seu acesso, mantendo o sub-solo com um teor de umidade, tão constante quanto possível.

2.5 RESISTÊNCIA DO SOLO

A resistência dos solos é decorrente da ação integrada de dois fatores, denominados de atrito e coesão. Conforme será visto adiante, o ângulo de atrito do solo está associado ao efeito de entrosamento entre as suas partículas. Por outro lado, a possibilidade ou não de drenagem, do desenvolvimento de pressões neutras, merece uma atenção especial no estudo dos solos (MACHADO, 1997).

Como princípio geral, deve ser fixado que o fenômeno de cisalhamento é basicamente um fenômeno de atrito, e que a resistência de cisalhamento dos solos depende predominantemente da tensão efetiva normal ao plano de cisalhamento (PINTO, 2000).

2.5.1 Definição

A resistência ao cisalhamento de um solo pode ser definida como a máxima tensão de cisalhamento que o solo pode suportar, sem sofrer ruptura, ou a tensão de cisalhamento do solo no plano em que a ruptura estiver ocorrendo. O cisalhamento ocorre devido ao deslizamento entre corpos sólidos ou entre partículas do solo. Sendo que os principais fenômenos que permitem menor ou maior deslizamento são o atrito e a coesão (PINTO 2000).

2.5.2 Atrito

A lei de atrito de Coulomb resultou de observações empíricas. Posteriormente, Terzaghi elaborou uma teoria que fornece embasamento teórico para as constatações empíricas das leis de atrito. Segundo ele, a superfície de contato real entre dois corpos constitui apenas uma parcela da superfície aparente de contato, dado que em um nível microscópico, as superfícies dos materiais são efetivamente rugosas. O contato entre as partículas se dá então apenas nas protuberâncias mais salientes. Sendo assim, as tensões

transmitidas nos contatos entre as partículas de solo são de valor muito elevado, sendo razoável admitir que haja plastificação do material na área dos contatos entre as partículas (MACHADO, 1997).

A resistência por atrito entre as partículas depende do coeficiente de atrito, e pode ser definida como a força tangencial necessária para ocorrer o deslizamento de um plano, em outro paralelamente a este. Esta força também é proporcional a força normal ao plano. O ângulo formado entre a força normal e a resultante das forças, tangencial e normal, é chamado de ângulo de atrito ϕ , sendo o máximo ângulo que a força cisalhante pode ter com a normal ao plano, sem que haja deslizamento (PINTO, 2000).

Nas argilas, o número de partículas de solo é muito maior, sendo menor a força entre os contatos, esta força não é suficiente para expulsar a água absorvida pelas partículas, ficando a água responsável pela transmissão das forças.

2.5.3 Coesão

A coesão consiste na parcela de resistência de um solo que existe independentemente de quaisquer tensões aplicadas e se mantém, ainda que não necessariamente em longo prazo, se todas as tensões aplicadas ao solo forem removidas. Várias fontes podem originar coesão em um solo. A cimentação entre partículas proporcionada por carbonatos, sílica, óxidos de ferro, dentre outras substâncias, responde, muitas vezes, por altos valores de coesão (MACHADO, 1997).

A resistência ao cisalhamento dos solos é essencialmente devida ao atrito entre as partículas. Entretanto, a atração química entre estas partículas pode provocar uma resistência independente da tensão normal, atuante no plano e que constitui uma coesão real, esta deve ser bem diferenciada da coesão aparente (PINTO, 2000).

A coesão real é a parcela da resistência ao cisalhamento de solos saturados, é devida à tensão entre partículas resultantes da pressão capilar da água. A coesão aparente é uma parcela da resistência ao cisalhamento de solos úmidos, não saturados, que não têm sua

origem na cimentação e nem nas forças intrínsecas de atração. Esse tipo de coesão deve-se ao efeito de capilaridade na água intersticial. A pressão neutra negativa atrai as partículas, gerando novamente um fenômeno de atrito, visto que ela origina uma tensão efetiva normal entre as mesmas, saturando-se totalmente o solo, ou secando-o por inteiro, esta parcela desaparece, donde o nome de aparente. A sua intensidade cresce com a diminuição do tamanho das partículas e pode ser uma parcela bastante considerável da resistência ao cisalhamento do solo, principalmente nos solos argilosos (MACHADO, 1997).

2.5.4 Ensaio de cisalhamento direto

A determinação da resistência ao cisalhamento de um solo pode ser feita através de ensaios em campo ou em laboratório. Os ensaios em laboratório, mais usuais, são os ensaios de cisalhamento direto e os ensaios triaxiais, ao passo que os ensaios de campo, mais utilizados, são os ensaios de palheta “*Vane-Test*”, sondagens à percussão e cisalhamento direto “*In situ*” (MACHADO, 1997).

Segundo Caputo (1988), o ensaio de cisalhamento direto é o mais antigo procedimento, e baseia-se no critério de Coulomb. O mesmo consiste em determinar, sob uma tensão normal, qual a tensão de cisalhamento capaz de provocar a ruptura de uma amostra de solo, colocada dentro de uma caixa composta de duas partes deslocáveis entre si.

A Figura 2 mostra a forma de como são plotados os resultados típicos de ensaios de cisalhamento direto e que, de uma maneira geral, representam o que ocorre num solo ao ser cisalhado.

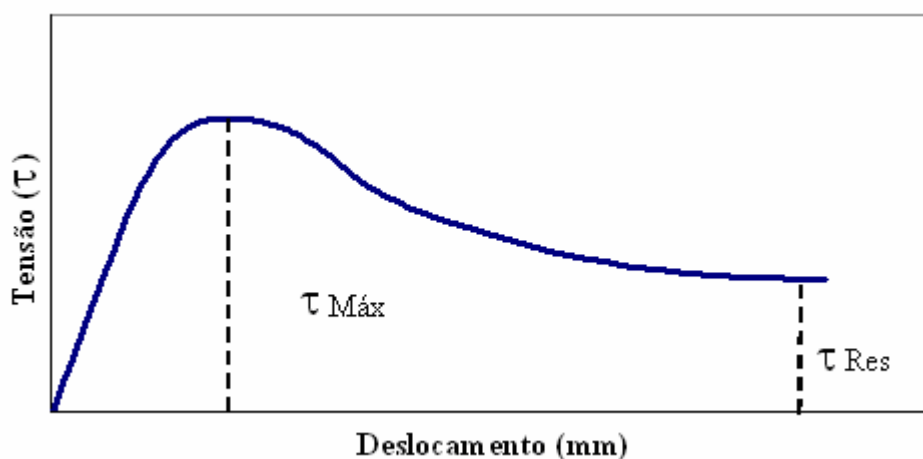


Figura 2: Ensaio de cisalhamento direto: representação de resultado típico de ensaio

Algumas deficiências limitam a aplicabilidade do ensaio de cisalhamento direto. A primeira delas é o fenômeno da ruptura progressiva, que se manifesta principalmente nos solos de ruptura do tipo frágil. A ruptura progressiva pode se dar porque a deformação cisalhante, ao longo do plano de ruptura, não é uniforme, ao iniciar o cisalhamento ocorre uma concentração de deformações, próximo às bordas da caixa de cisalhamento, que tendem a decrescer em direção ao centro da amostra (MACHADO, 1997).

As tensões em cada local são diferentes, de forma que, quando nas regiões próximas à borda da caixa de cisalhamento forem atingidas, a deformação e a tensão de ruptura, terá próximo ao centro da amostra tensões inferiores à de ruptura. À medida que aumentam as deformações, a ruptura caminha em direção ao centro e uma vez que, as extremidades já passaram pela ruptura, terá tensões menores que a de ruptura, nessas extremidades. Dessa forma, o valor de resistência, que se mede no ensaio, é mais conservador do que a máxima resistência que se poderia obter para o solo, porque a deformação, medida durante o ensaio, não consegue representar o que realmente ocorre, mas somente uma média das deformações que se processam na superfície de ruptura. Para solos de ruptura plástica, tal não ocorre, porque em todos os pontos da superfície de ruptura atuam esforços iguais, independentemente de qualquer concentração de tensões. Outro aspecto que merece ser citado refere-se ao fato de que o plano de ruptura pode não ser, na realidade, o mais fraco. Por sua vez, os esforços que atuam em outros planos que não o de ruptura, não podem ser estimados durante a realização do ensaio, senão quando no instante de ruptura. Além disso, a área do corpo de prova diminui durante o ensaio (MACHADO, 1997).

Deve-se salientar a dificuldade de controle das pressões neutras, antes e durante o ensaio, embora existam pedras porosas que permitam a dissipação de pressões neutras, não existe nenhum mecanismo que permita avaliar o desenvolvimento das pressões neutras no corpo de prova, tal qual seria possível num ensaio de compressão triaxial (MACHADO, 1997).

2.5.5 Ensaio de Compressão Simples

Segundo Machado (1997), este ensaio pode ser entendido como um caso especial de compressão triaxial. A tensão confinante é a pressão atmosférica. O valor da tensão principal na ruptura recebe o nome de resistência à compressão simples.

3 METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO

Este estudo teve como propósito pesquisar a viabilidade técnica da utilização de estabilização e reforço como métodos de melhoria das propriedades do solo.

A pesquisa realizada é quantitativa, uma vez que, as amostras coletadas em campo foram preparadas e ensaiadas em laboratório e os resultados analisados graficamente.

3.2 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS

O plano de coleta de dados resume-se a ensaios de compactação, cisalhamento direto e compressão simples.

3.2.1 Compactação

Para este estudo, foram feitos três conjuntos de ensaios, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1

Conjunto de ensaios de Proctor

Ensaio	Mistura	Energia
1	Solo-fibra	Intermediária
2	Solo-cal	Intermediária
3	Solo-cal-fibra	Intermediária

3.2.2 Cisalhamento Direto

Foram compactadas 12 amostras na umidade ótima e densidade aparente seca máxima, sendo distribuídas conforme mostra a Tabela 2:

Tabela 2

Conjunto de ensaios de cisalhamento direto

Ensaio	Mistura	Energia	sN (kPa)
1	Solo-fibra	Intermediária	30
2	Solo-fibra	Intermediária	60
3	Solo-fibra	Intermediária	100
4	Solo-fibra	Intermediária	200
5	Solo-cal	Intermediária	30
6	Solo-cal	Intermediária	60
7	Solo-cal	Intermediária	100
8	Solo-cal	Intermediária	200
9	Solo-cal-fibra	Intermediária	30
10	Solo-cal-fibra	Intermediária	60
11	Solo-cal-fibra	Intermediária	100
12	Solo-cal-fibra	Intermediária	200

3.2.3 Compressão Simples

Foram compactadas 31 amostras distribuídas conforme mostra a Tabela 3:

Tabela 3

Conjunto de ensaios de compressão simples

n° CP's	Nome CP's	Composição	% Cal	% Fibra	Tempo de Cura
1	S-01	Solo Compactado	-	-	0 dias
2	S-02	Solo Compactado	-	-	0 dias
3	S-03	Solo Compactado	-	-	0 dias
4	SC-13/3,5%	Solo- 3,5% Cal	3,5	-	28 dias
5	SC-14/3,5%	Solo- 3,5% Cal	3,5	-	28 dias
6	SC-15/3,5%	Solo- 3,5% Cal	3,5	-	28 dias
7	SC-16/7%	Solo- 7% Cal	7	-	28 dias
8	SC-17/7%	Solo- 7% Cal	7	-	28 dias
9	SC-18/7%	Solo- 7% Cal	7	-	28 dias
10	SC-01/11%	Solo- 11% Cal	11	-	45 dias
11	SC-02/11%	Solo- 11% Cal	11	-	45 dias
12	SC-08/11%	Solo- 11% Cal	11	-	45 dias
13	SC-03/11%	Solo- 11% Cal	11	-	90 dias
14	SC-04/11%	Solo- 11% Cal	11	-	90 dias
15	SC-07/11%	Solo- 11% Cal	11	-	90 dias
16	SC-05/11%	Solo- 11% Cal	11	-	28 dias
17	SC-06/11%	Solo- 11% Cal	11	-	28 dias
18	SC-09/11%	Solo- 11% Cal	11	-	3 dias
19	SC-10/11%	Solo- 11% Cal	11	-	3 dias
20	SC-11/11%	Solo- 11% Cal	11	-	7 dias
21	SC-12/11%	Solo- 11% Cal	11	-	7 dias
22	SC-19/14%	Solo- 14% Cal	14	-	28 dias
23	SC-20/14%	Solo- 14% Cal	14	-	28 dias
24	SC-21/14%	Solo- 14% Cal	14	-	28 dias
25	SF-01	Solo- 0,5% Fibra	-	0,5	0 dias
26	SF-02	Solo- 0,5% Fibra	-	0,5	0 dias
27	SF-03	Solo- 0,5% Fibra	-	0,5	0 dias
28	SCF-01	Solo- 11% Cal- 0,5% Fibra	11	0,5	28 dias
29	SCF-02	Solo- 11% Cal- 0,5% Fibra	11	0,5	28 dias
30	SCF-03	Solo- 11% Cal- 0,5% Fibra	11	0,5	28 dias
31	SCF-04	Solo- 11% Cal- 0,5% Fibra	11	0,5	28 dias

3.3 MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA

3.3.1 Solo

As propriedades físicas médias do solo, segundo Viecili (2003), são apresentadas no Quadro 1. A Figura 3 apresenta a distribuição granulométrica, obtida para o solo residual. Verifica-se que o material é composto por 85,0% de argila (<0,005mm), 10,0% de silte (0,005 - 0,074mm), 4,12% de areia fina (0,074 - 0,42mm), 0,72% de areia média (0,42 – 2,0mm) e 0,16% de areia grossa (2,0 – 4,8mm) e não possui fração de pedregulho.

Na classificação TRB, o solo classifica-se como A-7-5 (altamente elástico e sujeito a elevadas mudanças de volume).

Conforme a classificação unificada, o solo classifica-se como MH (silte de alta compressibilidade). Observando o índice de consistência e de atividade calculados, este solo se enquadra como uma argila dura e inativa.

Propriedades	Valores Médios
Limite de liquidez (LL)	59,00 %
Limite de plasticidade (LP)	47,03 %
Índice de plasticidade (IP)	11,97 %
Peso específico real dos grãos (G)	28,52 kN/m ³
Índice de Atividade (Ia)	0,14

Quadro 1: Propriedades físicas do solo

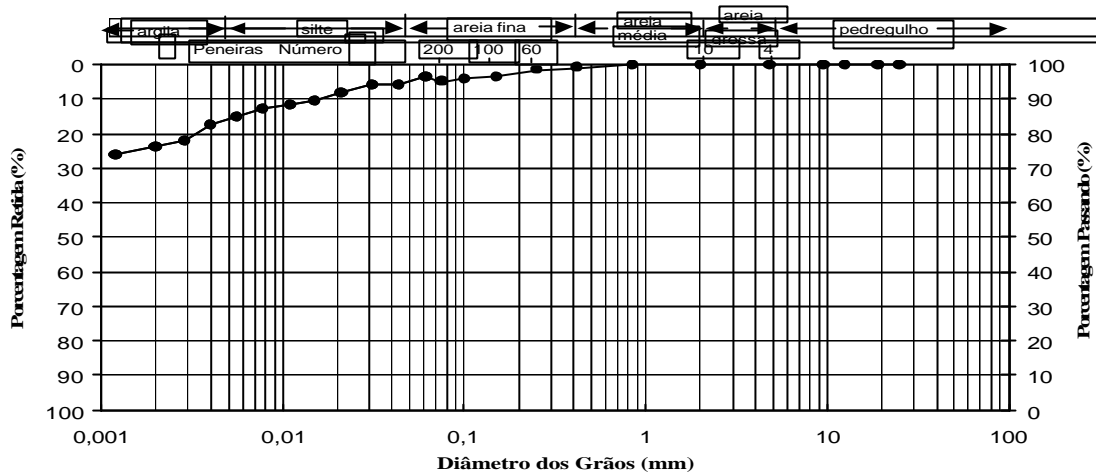


Figura 3: Distribuição granulométrica

3.3.2 Cal

Foi utilizada uma cal aérea obtida pela hidratação da cal virgem, constituída essencialmente de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio.

A cal utilizada tem as características mostradas no Quadro 2:

Propriedades	Complemento
Fabricante	Grupo DB, Dagoberto Barcelos S/A
Nome	Primor Extra
Tipo	Cal Aérea
Especificação	CH-II
Norma	NBR 7175
Óxido não hidratado	< 10 %
Óxidos totais não voláteis (Ca + MgO)	> 88 %
Retida acumulada peneira 0,600 mm	< 5 %
Retida acumulada peneira 0,075 mm	< 15 %
Retenção de água	> 80 %
Plasticidade	> 110 %
Incorporação de areia	> 2,5 %

Quadro 2: Características e exigências da cal usada na pesquisa

3.3.3 Fibra

As características da fibra, utilizada no trabalho, estão apresentadas no Quadro 3 e na Figura 4.

Propriedades	Complemento
Fabricante:	Fitesa
Tipo:	100% Polipropileno
Diâmetro:	21 micra
Comprimento:	24 mm
Área superficial específica:	205 m ² /kg
Frequência das fibras:	126 milhões/kg

Quadro 3: Características da fibra usada na pesquisa

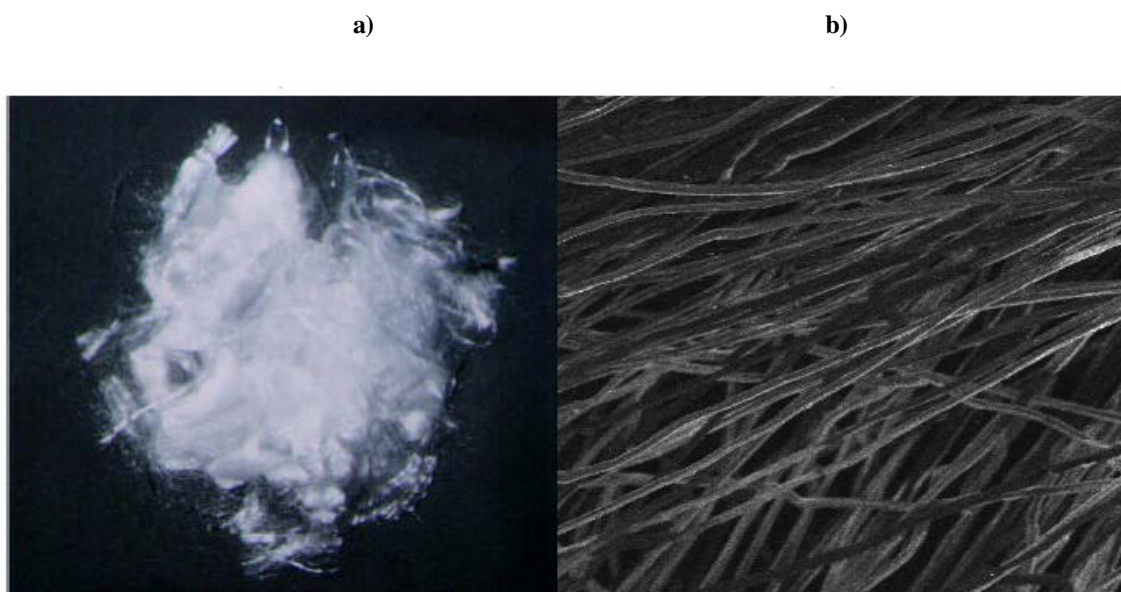


Figura 4: a) Fibras de polipropileno

b) Imagem de microscopia eletrônica (aumento de 90x)

Fonte: Specht (2002)

3.3.4 Água

A água, utilizada para os ensaios, foi a disponível na rede do laboratório de Engenharia civil, e classificada como água potável.

3.4 PROCEDIMENTO DE ENSAIOS E DESCRIÇÃO DE EQUIPAMENTOS

3.4.1 Compactação

O ensaio de Proctor é usado, em geral, para traçar a curva de umidade *versus* massa específica aparente. O ensaio consiste em compactar o solo com porcentagens crescentes de umidade num molde cilíndrico de dimensões específicas. A compactação é feita em camadas, aplicando-se um determinado número de golpes em cada camada, com soquete de dimensões, peso e altura de queda pré-definidos.

Para a realização do ensaio, o solo é destorroado e passado na peneira nº 4 (4,76 mm), de maneira a obter uma porção de 2.500g de solo seco. Adiciona-se água, de forma conveniente, para se obterem pontos com umidade abaixo e acima da umidade ótima. A amostra homogeneizada é colocada no molde, de forma a obter camadas ocupando 1/3 do seu volume. Aplica-se a quantidade de golpes e camadas, dependendo da energia desejada, retira-se o excesso de material com uma régua metálica e pesa-se o conjunto. Determina-se a umidade, podendo-se calcular a densidade máxima aparente seca.

Para este estudo, foi seguida a norma NBR-7182, sendo que os ensaios foram realizados na energia Intermediária. A norma especifica que para o cilindro pequeno (diâmetro de 10 e altura 12 cm), deve-se usar o soquete metálico grande com massa de 4.536g aplicando na amostra 21 golpes distribuídos em 3 camadas, sendo que o soquete caia de uma altura de 45,7 cm.

Para os ensaios que continham a cal, deixou-se a amostra já misturada reagir por uma hora, antes da compactação, para transcorrer o mesmo que acontece em campo, sendo o retardamento ocorrido pelo preparo e transporte da mistura.

Na Figura 5 está a ilustração de um ensaio de Proctor.

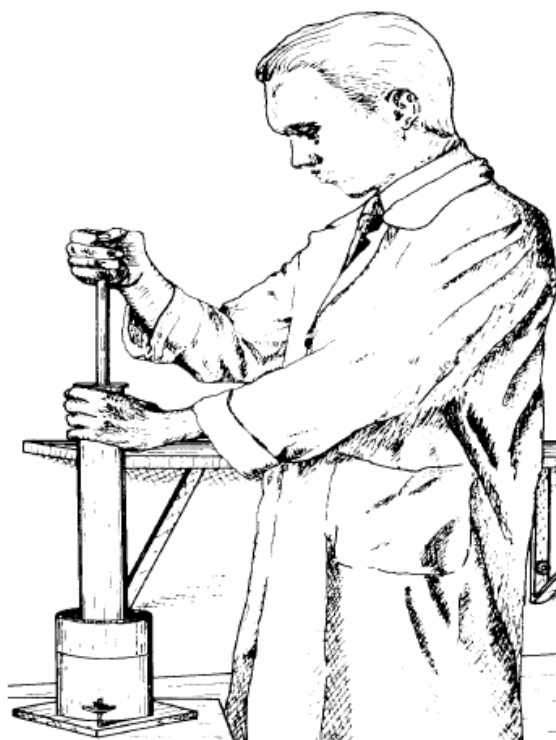


Figura 5: Ensaio de Proctor

Fonte: Machado (1997).

3.4.2 Cisalhamento Direto

Para o ensaio de cisalhamento direto, o solo é colocado numa caixa de cisalhamento, constituída de duas partes, conforme apresentado na Figura 6. A parte inferior é fixa, enquanto que a parte superior pode movimentar-se, aplicando tensões cisalhantes no solo. As pedras porosas, nas extremidades do corpo-de-prova, permitem a drenagem durante o ensaio.

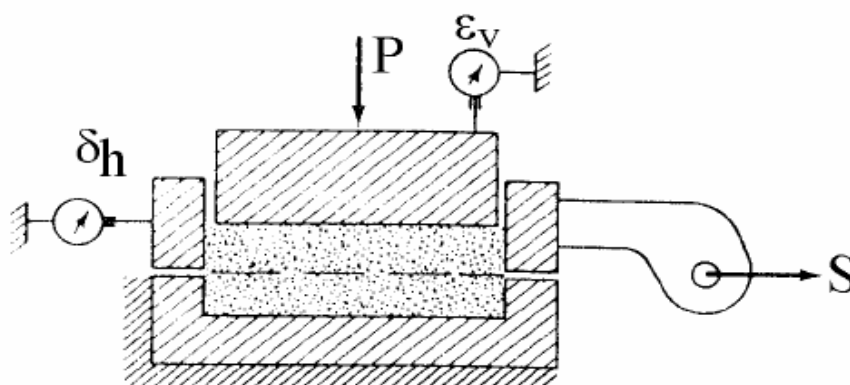


Figura 6: Esquema do ensaio de cisalhamento direto

Fonte: Machado (1997).

Para confecção dos corpos-de-prova, seguiram-se as seguintes etapas:

- a) primeiramente o solo é destorroado e passado na peneira nº 40;
- b) calcula-se a porção para cada mistura;
- c) mistura-se solo com fibra e cal, quando necessário;
- d) adiciona-se a água, sendo ela correspondente a umidade ótima do ensaio de compactação;
- e) quando a cal estiver presente na composição, é deixado reagir por uma hora.
- f) após, a amostra homogeneizada é colocada no molde, de forma a obter o corpo-de-prova cúbico (5,05 de comprimento por 5,05 de largura e altura de 1,97 cm), sendo que a massa calculada deve ser usada totalmente, para desse modo ter a densidade pré-determinada;
- g) embrulha-se a amostra em papel filme;
- h) embrulha-se a amostra em papel alumínio;
- i) identifica-se a amostra;
- j) coloca-se a amostra dentro de dois sacos plásticos impermeáveis;
- k) leva-se a amostra para estufa a 50 °C, sendo que ela fique imersa em água (caso das amostras com cal);
- l) deixa-se para curar durante vinte e oito dias, tempo que ocorre reação da cal;
- m) após a cura é retirada da estufa e rompida no cisalhador.

Sobre o corpo-de-prova são aplicadas tensões normais, que permanecem constantes até o final do ensaio (30, 60, 100 e 200 kPa). Essas tensões devem variar para cada corpo-de-prova, com o intuito de poder definir pares de tensões diferentes na ruptura. Três leituras são tomadas durante o ensaio: deslocamento horizontal (d_h), força cisalhante aplicada (P) e deformação vertical (e_v), a qual fornecerá variação de volume do corpo-de-prova. O equipamento utilizado é mostrado na Figura 7. Na Figura 8, estão descritos os acessórios, e na Figura 9, está a seqüência de montagem de parte do equipamento de cisalhamento direto.

Em Head (1986) e Viecili (2003) encontram-se maiores detalhes sobre a forma de execução do ensaio de cisalhamento direto.

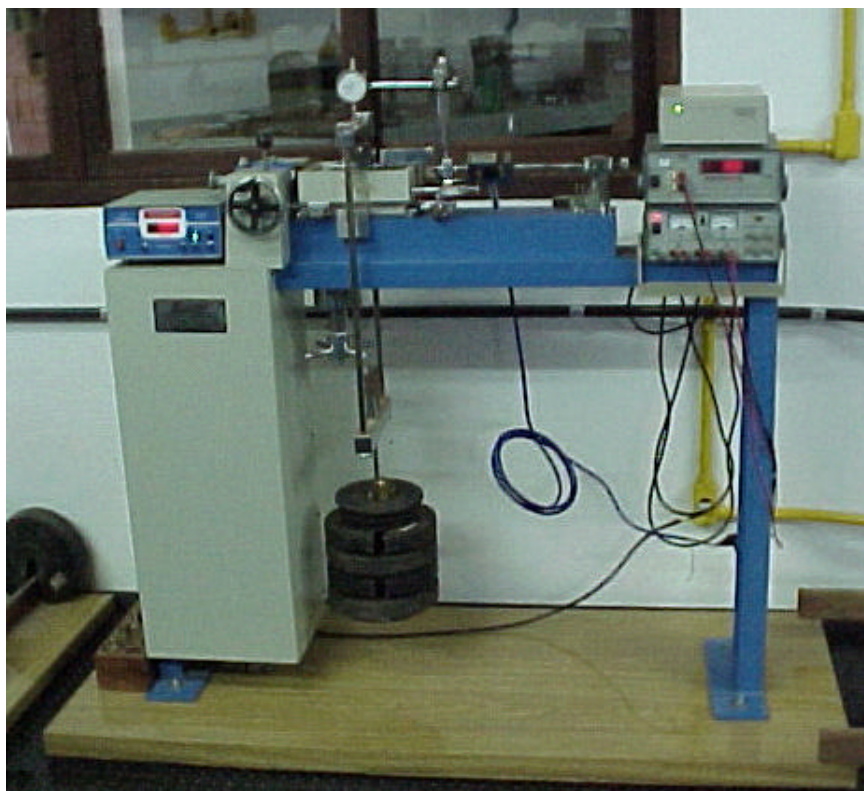
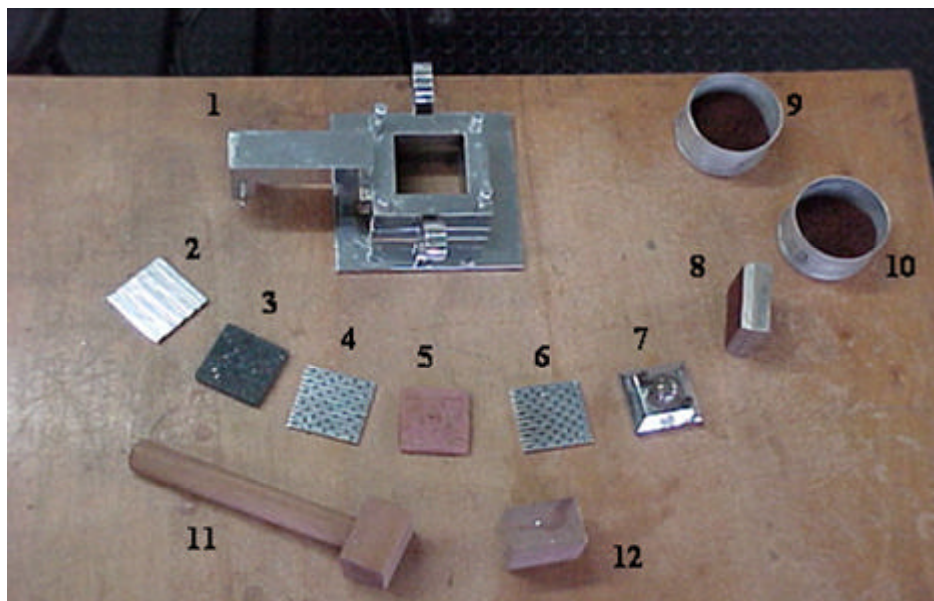


Figura 7: Equipamento de cisalhamento direto



- 1- Célula bipartida ou caixa de cisalhamento direto;
- 2- Fundo metálico removível;
- 3- Pedra porosa;
- 4- Placa metálica perfurada;
- 5- Pedra porosa;
- 6- Placa metálica perfurada;
- 7- Tampa de compressão da carga normal com esfera de aço;
- 8- Vazador (5,05 x 5,05 x 1,97 cm) contendo a amostra;
- 9- Cápsula contendo amostra de solo;
- 10- Cápsula contendo amostra de solo;
- 11- Martelo de madeira;
- 12- Tarugo de Madeira;

Figura 8: Acessórios do equipamento de Cisalhamento Direto

Fonte: Vecili (2003).

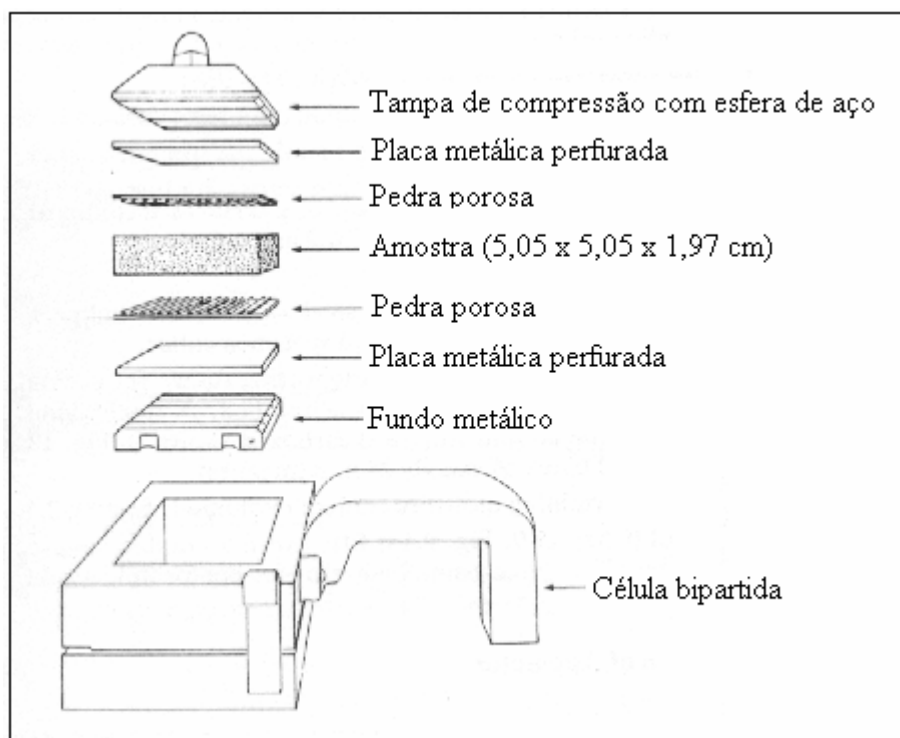


Figura 9: Seqüência de montagem da amostra na célula de cisalhamento direto

Fonte: Head (1986).

3.4.3 Compressão Simples

O ensaio consiste na moldagem de um corpo-de-prova cilíndrico. Comprime-se esse corpo-de-prova em máquina adequada até rompê-lo. A carga de ruptura dividida pela área média do cilindro é chamada “resistência à compressão simples” (VARGAS, 1997).

Para este ensaio, seguiu-se a norma NBR-12025, sendo que as etapas foram as seguintes:

- a) primeiramente, o solo é destorroado e passado na peneira nº 10;
- b) calcula-se a porção para cada mistura;
- c) mistura-se solo com fibra e cal, quando necessário;

- d) adiciona-se a água, sendo ela correspondente a umidade ótima do ensaio de compactação;
- e) quando tiver a cal na composição, é deixado reagir por uma hora.
- f) após, a amostra homogeneizada é dividida em três partes iguais, para que assim cada parte forme uma camada;
- g) coloca-se cada parte da mistura no molde compactador até atingir a marca determinada no socador;
- h) com a compactação, obtém-se um o corpo-de-prova cilíndrico (5 cm de diâmetro e 10 cm de altura);
- i) é retirado o corpo-de-prova no macaco hidráulico;
- j) embrulha-se a amostra em papel filme;
- k) embrulha-se a amostra em papel alumínio;
- l) identifica-se a amostra;
- m) coloca-se a amostra dentro de dois sacos plásticos impermeáveis;
- n) leva-se a amostra para estufa a 50 °C, sendo que ela fique imersa em água (caso das amostras com cal);
- o) deixa-se para reagir durante tempo determinado pela pesquisa, 3, 7, 28, 45 e 90 dias;
- p) após, a cura é retirada da estufa;
- q) quando contém cal, deixa-se, por vinte e quatro horas, imerso em água, conforme predomina a norma;
- r) rompe-se em prensa.

A Figura 10 apresenta o molde usado para se fazer os corpos-de-prova e a prensa utilizada para rompê-los.

a)



b)

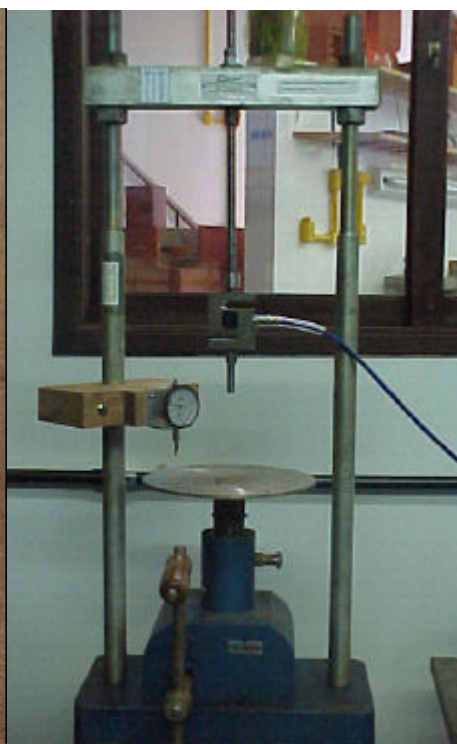


Figura 10: a) Molde para preparação de amostra para ensaio de compressão simples
b) Prensa para romper corpos-de-prova de Compressão Simples

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados, obtidos com os ensaios de compactação, cisalhamento direto e compressão simples.

4.1 COMPACTAÇÃO

O objetivo da compactação é aumentar a massa específica aparente pela aplicação de pressão, impacto ou vibração. Os resultados dos ensaios de compactação são apresentados nos itens subseqüentes. As planilhas completas estão no Apêndice A.

4.1.1 Solo-Fibra

Para a mistura de solo-fibra na energia de compactação intermediária, foi plotada a curva de compactação da Figura 11, de onde podem ser extraídos os valores de umidade ótima e densidade máxima, encontrados na Tabela 4. Nota-se que, com o aumento da umidade, aumenta a densidade aparente até o pico e, após, o inverso acontece. Na construção do gráfico, os pontos dispersaram-se da curva, o que é demonstrado pelo coeficiente de correlação R^2 de 0,86. Isso pode ser relacionado com a presença da fibra, tornando a amostra mais heterogênea.

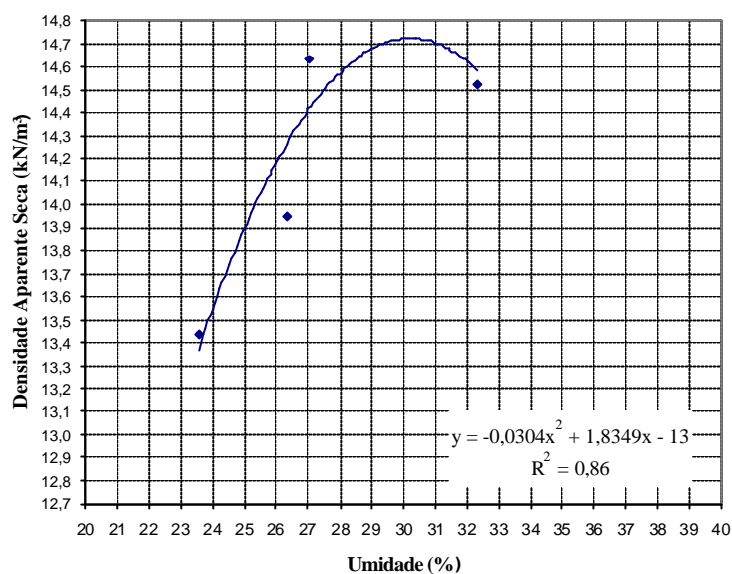


Figura 11: Curva de compactação do solo-fibra

Tabela 4

Resultado do ensaio de compactação de solo-fibra

Umidade Ótima	30 %
Densidade Máxima	14,72 kN/m ³

4.1.2 Solo-Cal

A partir do ensaio executado com solo-cal na energia de compactação intermediária, foi plotado a curva de compactação da Figura 12, de onde podem ser extraídos os valores de umidade ótima e densidade máxima, encontrados na Tabela 5. Nota-se que, com o aumento da umidade, aumenta a densidade aparente seca no ramo seco, porém isso não ocorre no ramo úmido, como era de se esperar. Também se observou que os pontos ficaram próximos da curva, o que é ressaltado pelo coeficiente de correlação R^2 de 0,99.

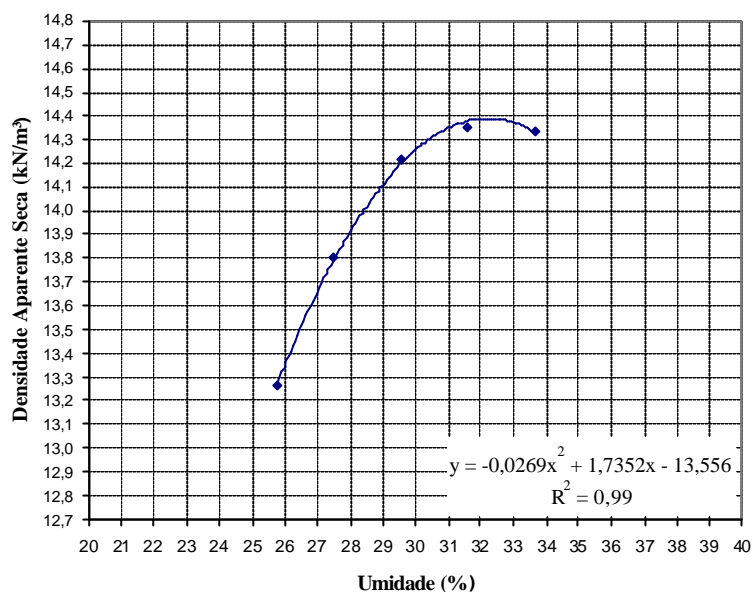


Figura 12: Curva de compactação do solo-cal

Tabela 5

Resultado do ensaio de compactação de solo-cal

Umidade Ótima	32 %
Densidade Máxima	14,39 kN/m ³

4.1.3 Solo-Cal-Fibra

Com a mistura de solo-cal-fibra na energia de compactação intermediária, foi plotado a curva de compactação da Figura 13, de onde podem ser extraídos os valores de umidade ótima e densidade máxima, encontrados na Tabela 6. Na construção do gráfico, os pontos dispersaram-se da curva. Isso pode ser relacionado com a presença da fibra e da cal, o que torna a amostra mais heterogênea. O valor de R^2 encontrado no ajuste foi de 0,75.

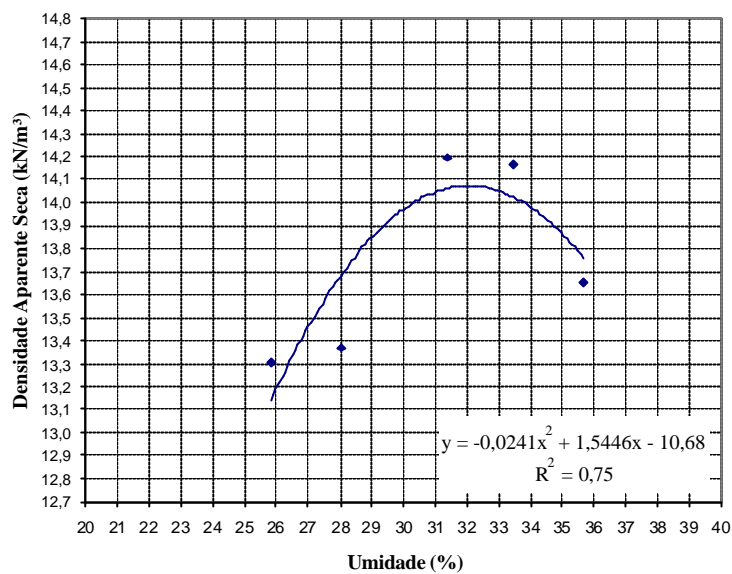


Figura 13: Curva de compactação do solo-cal-fibra

Tabela 6

Resultado do ensaio de compactação de solo-cal-fibra

Umidade Ótima	32 %
Densidade Máxima	14,08 kN/m³

4.1.4 Análise e sistematização

O gráfico da Figura 14 contém todas as curvas de compactação. Sendo que, os dados demonstrados de solo-compactado foram estudados por Bonafé (2003), e estão aqui demonstrados para comparação.

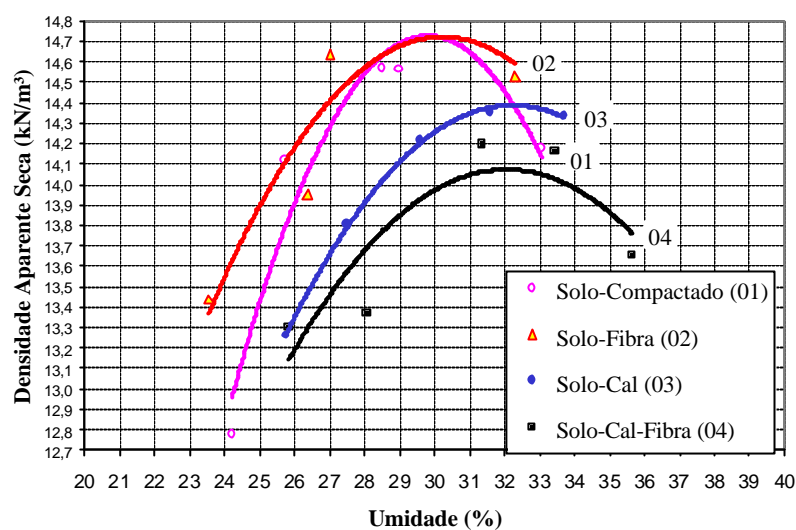


Figura 14: Curvas de compactação dos materiais estudados

A Tabela 7 apresenta todos os parâmetros de compactação, obtidos com tais curvas. No gráfico da Figura 15, são apresentadas as umidades ótimas para as respectivas misturas e, por fim, na Figura 16 estão as densidades aparentes.

Tabela 7

Resultados do ensaio de compactação

Tipo de Mistura	Umidade Ótima (%)	Densidade Máxima (kN/m ³)
Solo-Compactado *	30	14,73
Solo-Fibra	30	14,72
Solo-Cal	32	14,39
Solo-Cal-Fibra	32	14,08

Nota: * Bonafé (2003)

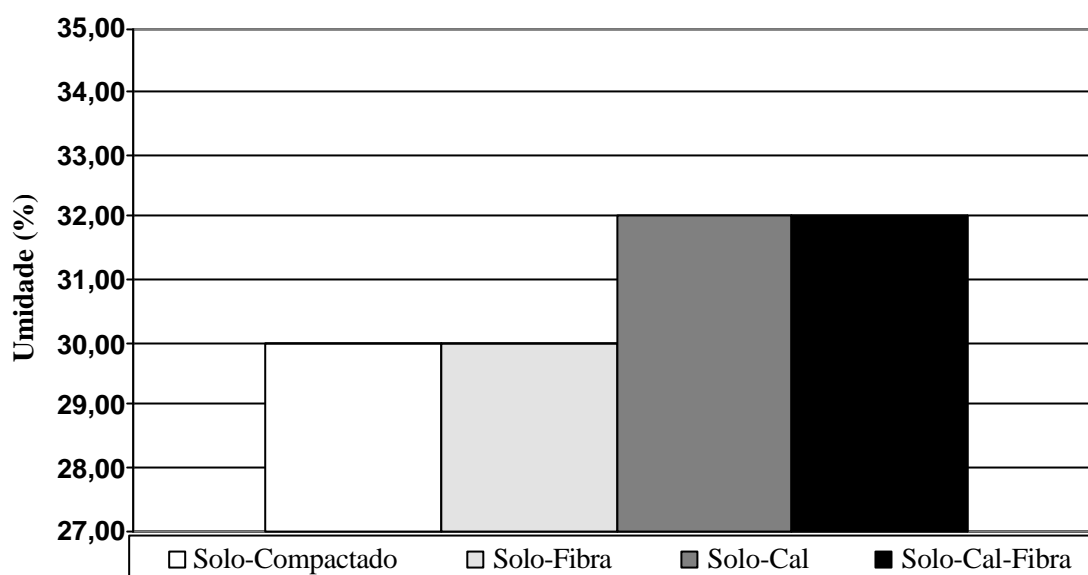


Figura 15: Umidade ótica dos materiais estudados

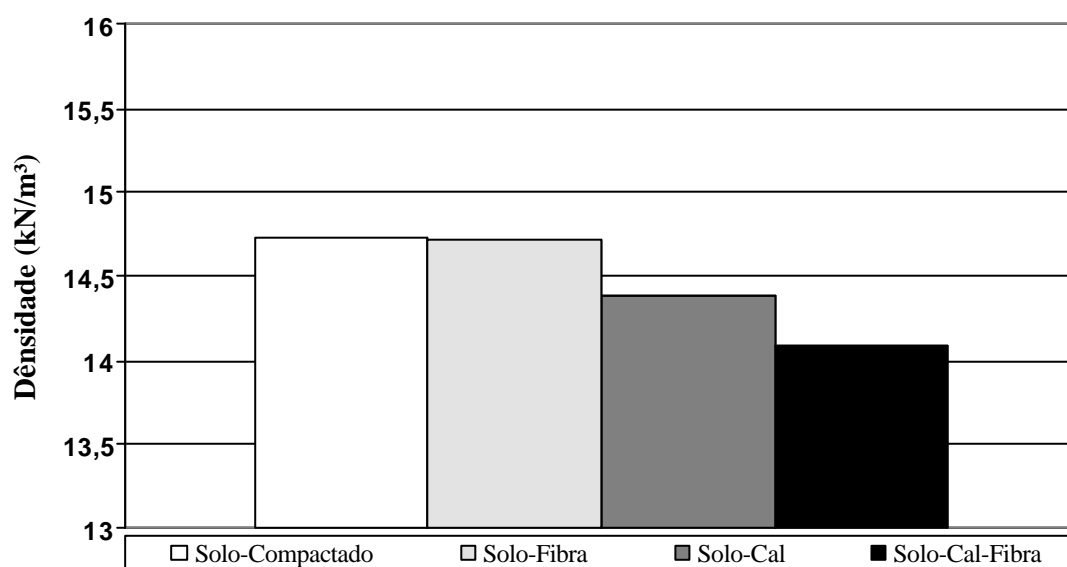


Figura 16: Densidade máxima dos materiais estudados

Nota-se que a adição de cal aumentou sensivelmente a umidade ótica e diminuiu a densidade aparente seca. No caso da adição de fibra, mantém-se a umidade e a densidade máxima. Quando o composto for solo-cal-fibra nota-se a redução da densidade máxima, isso ocorre, devido à redução da área de acesso das partículas de solo, deixando maior espaço de vazios.

4.2 CISALHAMENTO DIRETO

Para os ensaios de cisalhamento direto, foram encontrados os resultados demonstrados nos itens subseqüentes.

É importante salientar que é a primeira vez que se determinam estes parâmetros para o solo de Ijuí. Estes valores são importantes pois podem ser utilizados para projetos de fundação ou muros de arrimo.

As planilhas completas estão no Apêndice B.

4.2.1 Solo-Fibra

A Figura 17 mostra o gráfico onde são plotados deslocamento horizontal *versus* tensão cisalhante e, na Figura 18, tem-se o gráfico, onde é plotado deslocamento horizontal *versus* deformação vertical.

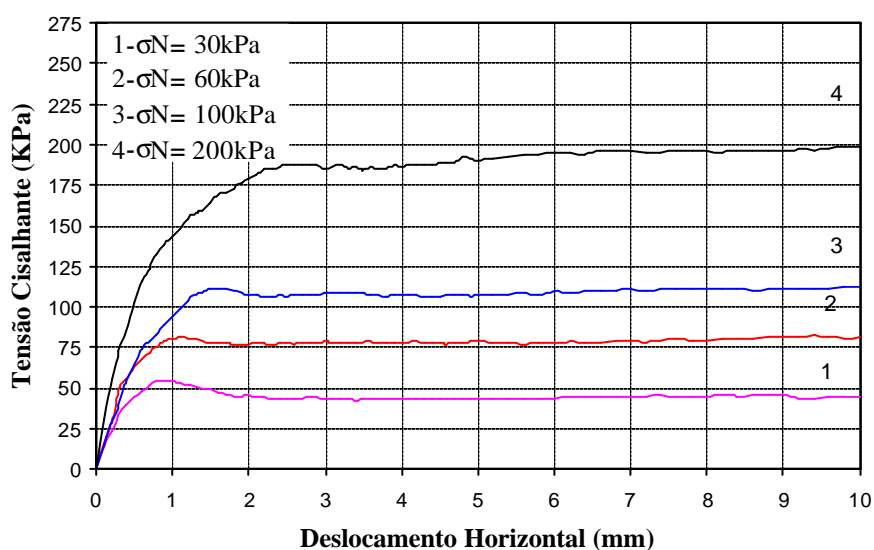


Figura 17: Resultado do ensaio de cisalhamento para solo-fibra

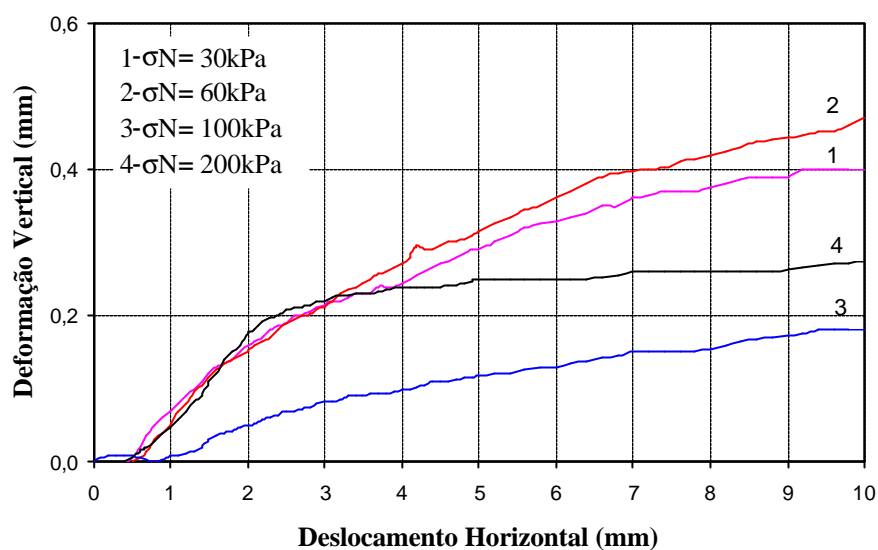


Figura 18: Resultado do ensaio de cisalhamento para solo-fibra

No ensaio executado com solo-fibra na energia de compactação intermediária, notou-se que a mistura apresentou comportamento dilatante, sem relação direta com a tensão normal.

Com o aumento da tensão normal, aumentou a resistência ao cisalhamento e diminuiu a deformação vertical, o material teve comportamento dúctil, ou seja, não teve pico acentuado, mantendo a resistência constante após um determinado patamar da resistência. Isto é correlacionado pela aproximação das envoltórias de ruptura de pico e residual.

Com os ensaios e a construção dos gráficos, obtiveram-se os valores encontrados na Tabela 8. Na Figura 19, mostra-se a envoltória de ruptura de onde pode se encontrar o ângulo de atrito e a coesão, nele é plotado tensão normal efetiva *versus* tensão cisalhante.

Tabela 8

Resultado do ensaio de cisalhamento direto de solo-fibra

Ângulo de Atrito (ϕ')	37,54°
Coesão (c')	34,08 kPa

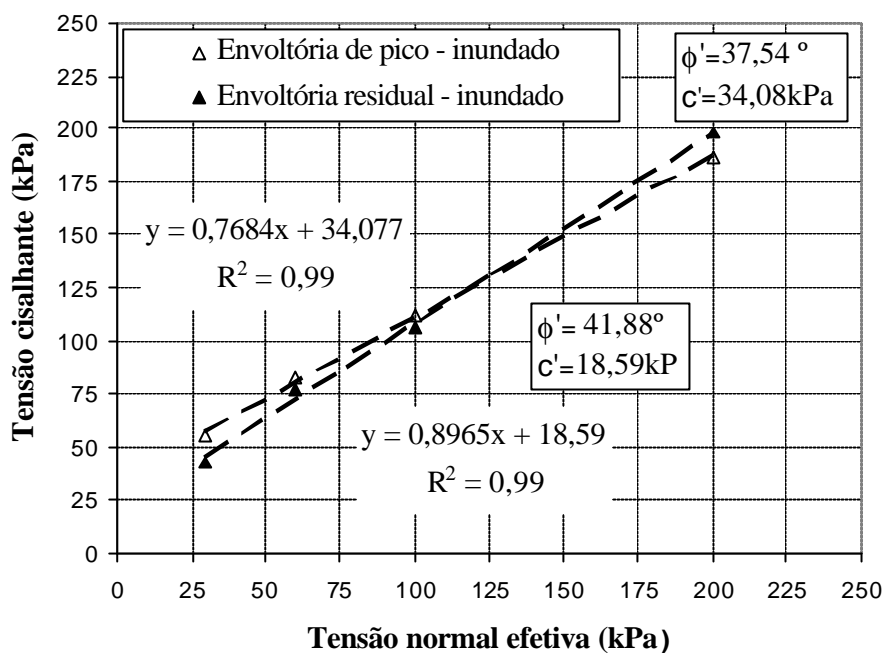


Figura 19: Envoltória de ruptura para solo-fibra

4.2.2 Solo-Cal

A Figura 20 mostra o gráfico onde são plotados deslocamento horizontal *versus* tensão cisalhante e, na Figura 21, tem-se o gráfico, onde é plotado deslocamento horizontal *versus* deformação vertical para a mistura solo-cal. Ressalta-se que a energia de compactação utilizada foi a intermediária e o tempo de cura das amostras 28 dias à temperatura de 50 °C.

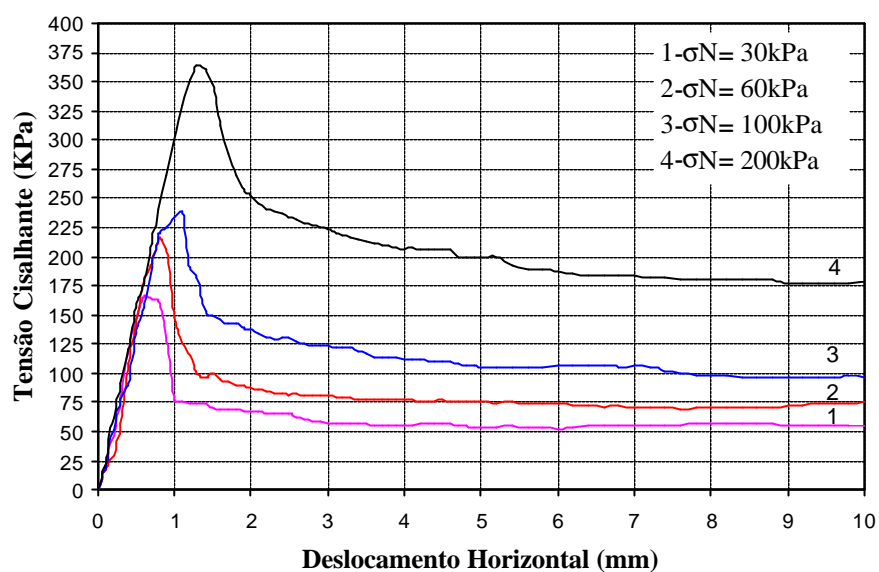


Figura 20: Resultado do ensaio de cisalhamento para solo-cal

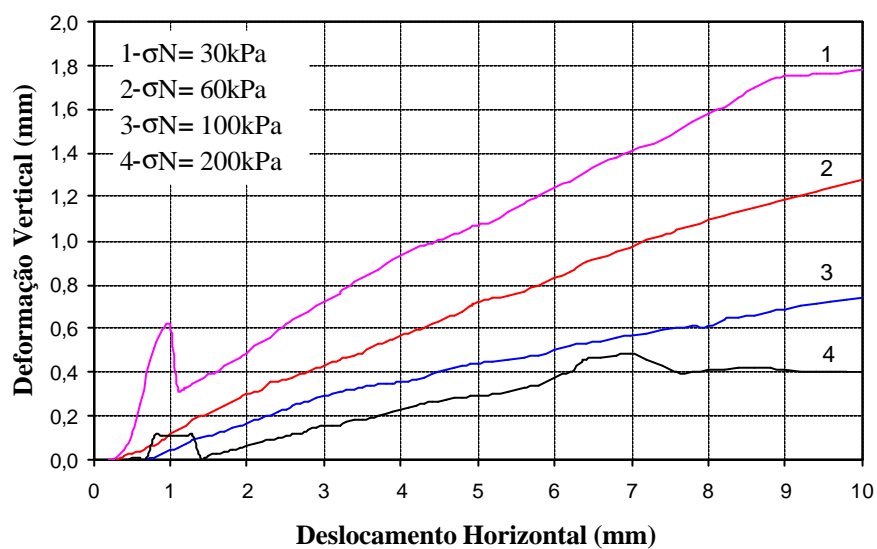


Figura 21: Resultado do ensaio de cisalhamento para solo-cal

No ensaio executado com solo-cal na energia de compactação intermediária, observou-se que a mistura apresentou comportamento dilatante, pois com o aumento da tensão houve um aumento do deslocamento horizontal.

Com o aumento da tensão normal, aumentou a resistência ao cisalhamento, reduzindo a deformação vertical e o material apresentou comportamento frágil, pois, após o pico elevado, teve uma queda significativa da resistência residual.

Com os ensaios e a construção dos gráficos se obtiveram os parâmetros de resistência ao cisalhamento de Mohr Coulomb, encontrados na Tabela 9. Na Figura 22 mostra-se a envoltória de ruptura de onde pode se encontrar o ângulo de atrito e a coesão, nele é plotado tensão normal efetiva *versus* tensão cisalhante.

Tabela 9

Resultado do ensaio de cisalhamento direto de solo-cal

Ângulo de Atrito (ϕ')	48,42°
Coesão (c')	135,63 kPa

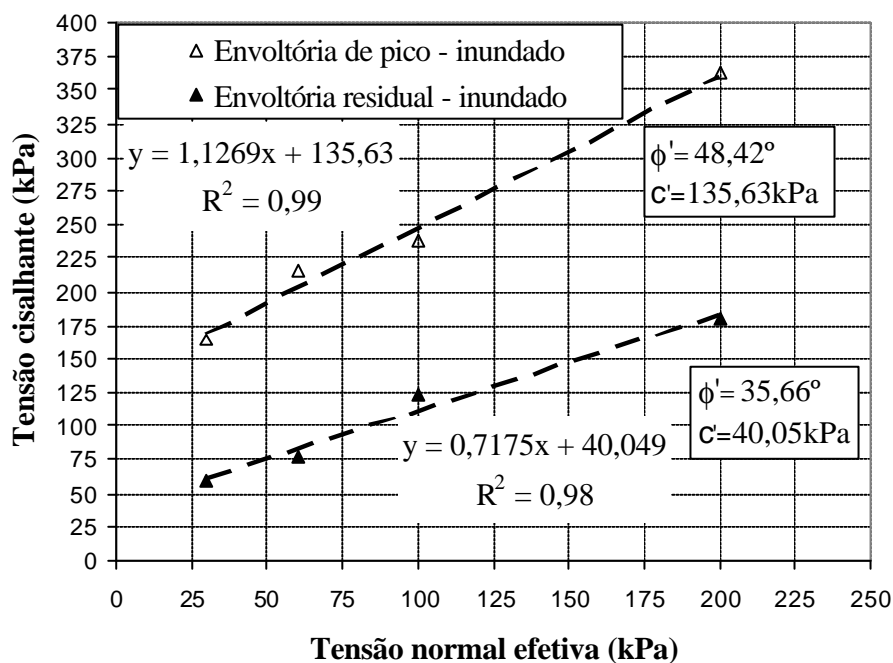


Figura 22: Envoltória de ruptura para solo-cal

4.2.3 Solo-Cal-Fibra

A Figura 23 mostra o gráfico onde são plotados deslocamento horizontal *versus* tensão cisalhante e, na Figura 24, tem-se o gráfico onde é plotado deslocamento horizontal *versus* deformação vertical.

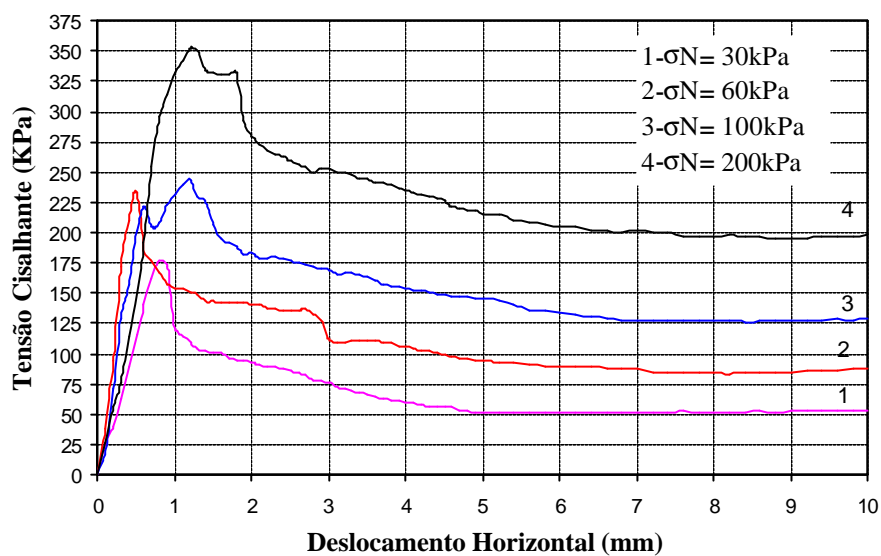


Figura 23: Resultado do ensaio de cisalhamento para solo-cal-fibra

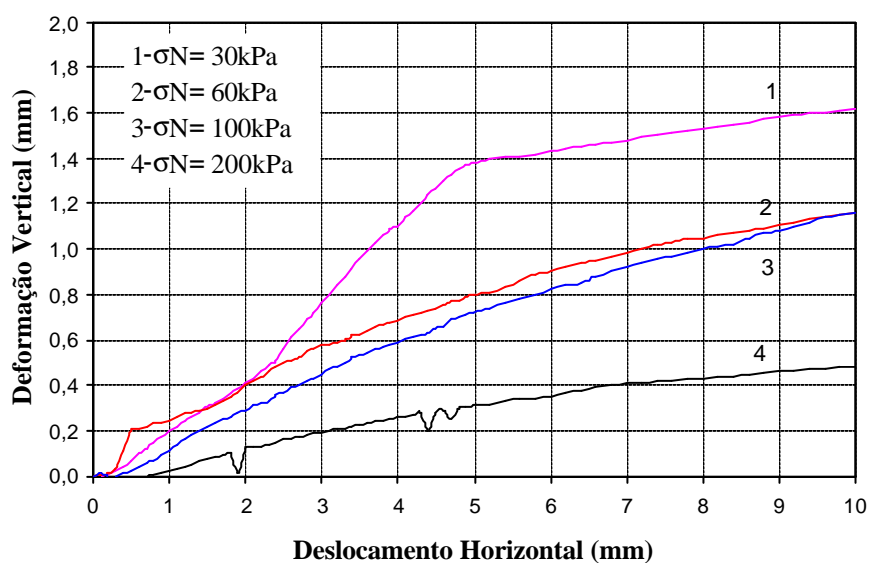


Figura 24: Resultado do ensaio de cisalhamento para solo-cal-fibra

No ensaio executado com solo-cal-fibra na energia de compactação intermediária, notou-se que a mistura apresentou comportamento dilatante, pois, com o aumento da tensão, houve um aumento do deslocamento horizontal.

O aumento da tensão normal aumentou a resistência ao cisalhamento, o material teve comportamento intermediário, entre dúctil e frágil, ou seja, teve um pico acentuado tendo uma pequena queda, mantendo o residual bastante alto em relação às outras misturas.

Com os ensaios e a construção dos gráficos, obtiveram-se os valores encontrados na Tabela 10. Na Figura 25, mostra-se a envoltória de ruptura de onde pode se encontrar o ângulo de atrito e a coesão, nele é plotado tensão normal efetiva *versus* tensão cisalhante.

Tabela 10

Resultado do ensaio de cisalhamento direto de solo-cal-fibra

Ângulo de Atrito (ϕ')	44,35°
Coesão (c')	156,19 kPa

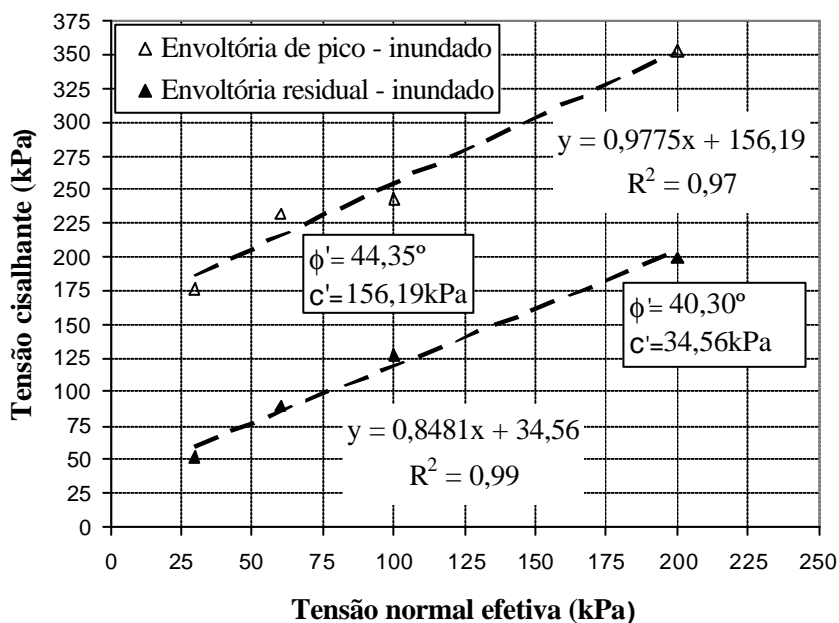


Figura 25: Envoltória de ruptura para solo-cal-fibra

4.2.4 Análise e sistematização

A Figura 26 mostra o gráfico resumo com tensão normal para todas as misturas, ensaiadas à 100 kPa, onde nele são plotados deslocamento horizontal *versus* tensão cisalhante. Na Figura 27 tem-se o gráfico resumo para tensão normal de 100 kPa onde é plotado deslocamento horizontal *versus* deformação vertical. São incluídos os parâmetros de solo natural (Viecili, 2003) e solo compactado (Bonafé, 2003) para comparação.

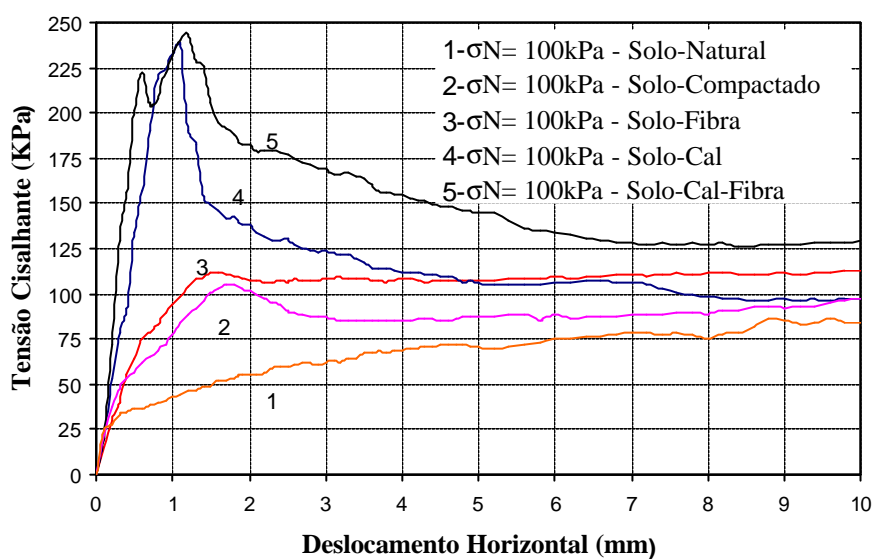


Figura 26: Gráfico resumo $\sigma_N=100\text{kPa}$

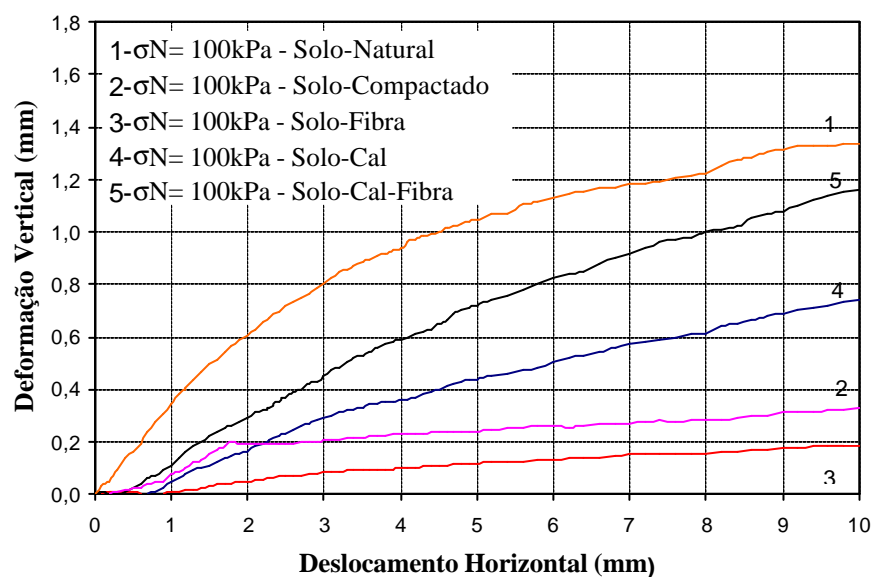


Figura 27: Gráfico resumo $\sigma_N=100\text{kPa}$

Com os gráficos anteriores, foi possível montar a Figura 28, onde mostra a envoltória de ruptura de cada composição. A partir dele, pode se encontrar o ângulo de atrito e coesão e é plotado tensão normal efetiva *versus* tensão cisalhante.

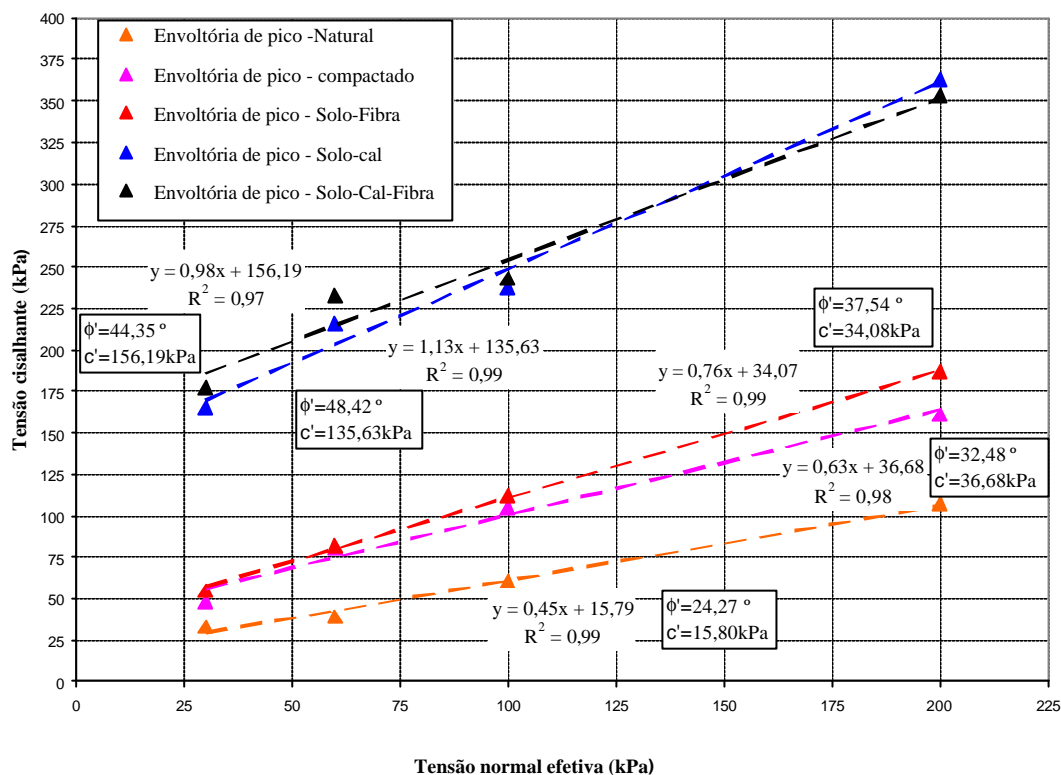


Figura 28: Envoltórias de ruptura

Na Figura 11 estão os valores de ângulo de atrito e coesão.

Tabela 11

Resultados do ensaio de cisalhamento direto

Tipo de Mistura	Ângulo de Atrito (ϕ')	Coesão (c')
Solo-Natural*	$24,27^\circ$	15,80 kPa
Solo-Compactado**	$32,48^\circ$	36,68 kPa
Solo-Fibra	$37,54^\circ$	34,08 kPa
Solo-Cal	$48,42^\circ$	135,63 kPa
Solo-Cal-Fibra	$44,35^\circ$	156,19 kPa

Nota: * Viceli (2003)

** Bonafé (2003)

Na Figura 29 está a comparação dos valores de ângulo de atrito e, em seguida, a Figura 30 mostra os valores de coesão.

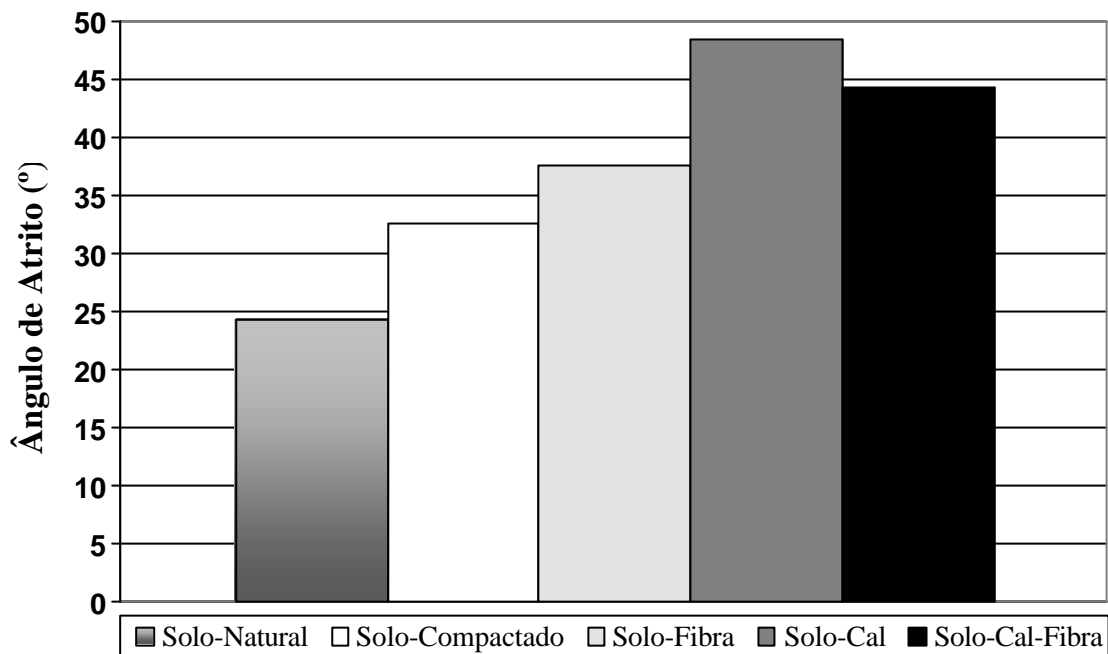


Figura 29: Ângulo de atrito das misturas

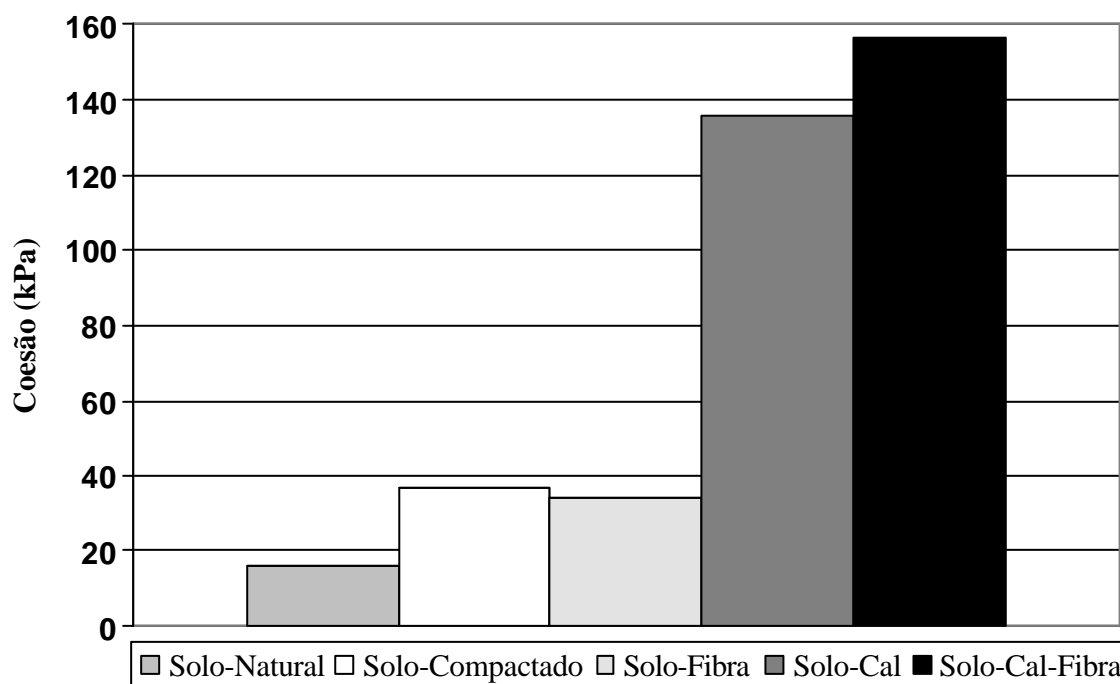


Figura 30: Coesão das misturas

A cal proporciona um aumento da coesão e ângulo de atrito alto para as misturas, porém quando adicionando fibra à composição o ângulo de atrito tem uma queda sensível.

Para aplicação na engenharia, faz-se necessário estudar qual a técnica apropriada para seu uso, juntamente de comparação de custos, para se avaliar qual das misturas será mais econômica.

Specht (2002) avaliou, através de um índice denominado índice de fragilidade (If), a maior ou menor fragilidade, para este cálculo usou a seguinte fórmula:

$$If = \frac{s_{rup}}{s_{res}} - 1$$

Onde s_{rup} é a tensão de ruptura e o s_{res} é a tensão residual. Quanto maior é o valor de If, maior é a fragilidade do material. Quanto maiores forem as características de ductilidade do material, menor será o valor de If. A Tabela 12 mostra os valores de If e a Figura 31, a grandeza para tensão normal de 100 kPa.

Tabela 12

Resultados do ensaio de cisalhamento direto

Tipo de Mistura	S Ruptura (kPa)	S Residual (kPa)	If
Solo-Natural*	60	84	-0,29
Solo-Compactado**	105	87	0,21
Solo-Fibra	112	106	0,06
Solo-Cal	238	123	0,93
Solo-Cal-Fibra	243	128	0,90

Nota: * Vecili (2003)

** Bonafé (2003)

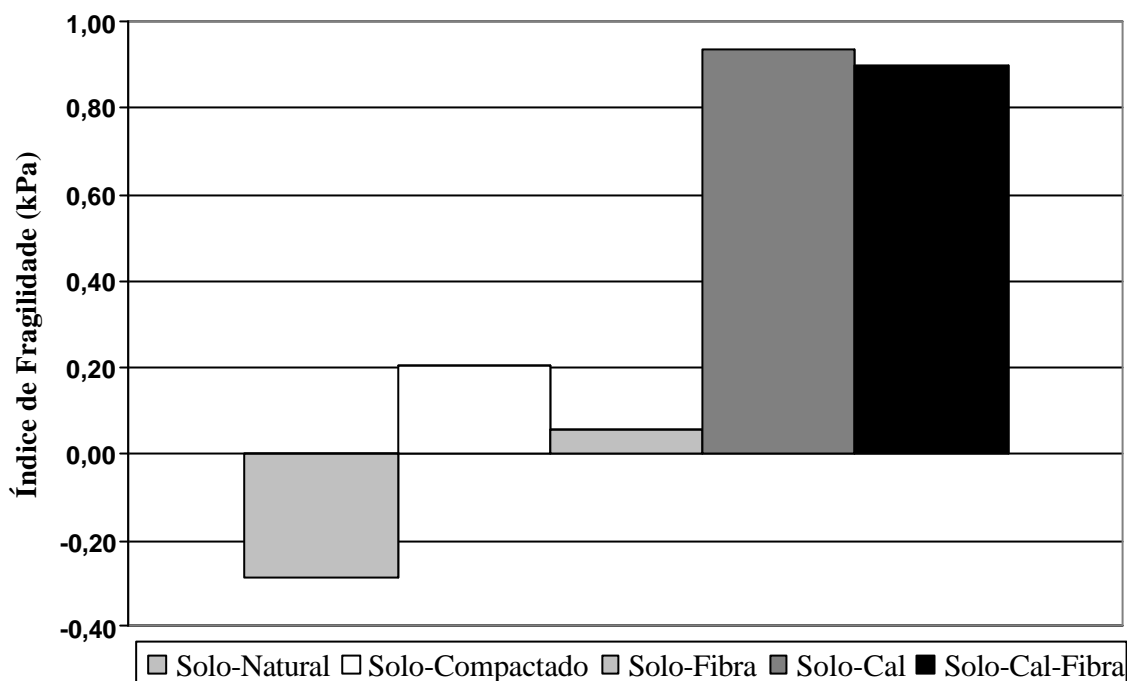


Figura 31: Valores de If para as misturas

Observa-se que solo-natural, solo-compactado e solo-fibra se mostraram com boa ductilidade, o que não aconteceu com as amostras que continham a cal. Assim conclui-se que a cal torna a amostra muito resistente, porém, com fragilidade.

4.3 COMPRESSÃO SIMPLES

Para os ensaios de compressão simples foram encontrados os resultados demonstrados nos itens subseqüentes:

4.3.1 Solo-Compactado

Na Tabela 13 estão os valores das tensões de ruptura dos corpos-de-prova de solo-compactado. Nota-se uma boa concordância de resultado dos três CP's ensaiados, demonstrado pelo baixo desvio padrão.

Tabela 13

Resultados do ensaio de compressão simples

Nome CP's	Composição	Tensão (kPa)	Tensão Média (kPa)	Desvio Padrão	C V (%)
S-01	Solo	254,94	254,13	2,52	0,99
S-02	Solo	251,31			
S-03	Solo	256,15			

4.3.2 Solo-Fibra

Na Tabela 14 estão os valores das tensões admissíveis pelos corpos-de-prova de solo-fibra.

Tabela 14

Resultados do ensaio de compressão simples

Nome CP's	Composição	Tensão (kPa)	Tensão Média (kPa)	Desvio Padrão	C V (%)
SF-01	Solo- 0,5%Fibra	245,26	248,08	17,72	7,14
SF-02	Solo- 0,5%Fibra	267,05			
SF-03	Solo- 0,5%Fibra	231,94			

4.3.3 Solo-Cal

Na Tabela 15 estão os valores das tensões de ruptura dos corpos-de-prova de solo-cal. Ressaltando que a temperatura de cura foi de 50 °C.

Tabela 15

Resultados do ensaio de compressão simples

Nome CP's	Tempo de Cura	Composição	Tensão (kPa)	Tensão Média (kPa)	Desvio Padrão	C V (%)
SC-09/11%	3	Solo-11%Cal	880,76	800,87	112,98	14,11
SC-10/11%	3	Solo-11%Cal	720,98			
SC-11/11%	7	Solo-11%Cal	861,40	801,48	84,74	10,57
SC-12/11%	7	Solo-11%Cal	741,56			
SC-13/3,5%	28	Solo- 3,5%Cal	131,47	129,45	1,85	1,43
SC-14/3,5%	28	Solo- 3,5%Cal	127,84			
SC-15/3,5%	28	Solo- 3,5%Cal	129,05			
SC-16/7%	28	Solo- 7%Cal	417,15	409,88	21,52	5,25
SC-17/7%	28	Solo- 7%Cal	385,67			
SC-18/7%	28	Solo- 7%Cal	426,83			
SC-05/11%	28	Solo-Cal	1551,38	1496,30	77,89	5,21
SC-06/11%	28	Solo-Cal	1441,22			
SC-19/14%	28	Solo- 14%Cal	2303,09	2271,62	147,79	6,51
SC-20/14%	28	Solo- 14%Cal	2110,62			
SC-21/14%	28	Solo- 14%Cal	2401,14			
SC-01/11%	45	Solo-Cal	1473,90	1437,19	182,55	12,70
SC-02/11%	45	Solo-Cal	1239,07			
SC-08/11%	45	Solo-Cal	1598,58			
SC-03/11%	90	Solo-Cal	1665,16	1458,57	199,01	13,64
SC-04/11%	90	Solo-Cal	1268,12			
SC-07/11%	90	Solo-Cal	1442,43			

Em relação ao tempo de cura, pode-se notar que quanto maior o tempo maior o desvio padrão, então para tempos elevados são necessárias mais amostras para se obter uma média confiável.

4.3.4 Solo-Cal-Fibra

Na Tabela 16 estão os valores das tensões admissíveis pelos corpos-de-prova de solo-cal-fibra, lembrando que o período de cura foi de 28 dias.

Tabela 16

Resultados do ensaio de compressão simples

Nome CP's	Composição	Tensão (kPa)	Tensão Média (kPa)	Desvio Padrão	C V (%)
SCF-01	Solo- 11%Cal- 0,5%Fibra	1429,12	1282,34	132,83	10,36
SCF-02	Solo- 11%Cal- 0,5%Fibra	1245,12			
SCF-03	Solo- 11%Cal- 0,5%Fibra	1118,02			
SCF-04	Solo- 11%Cal- 0,5%Fibra	1337,12			

4.3.5 Análise e sistematização

A partir dos dados dos ensaios de compressão simples, poderá se fazer dois tipos de análises, análise da influência da porcentagem de cal e análise da influência do tempo de cura, que serão tratados nos itens subseqüentes.

4.3.5.1 Influência da porcentagem de cal

A partir dos valores apresentados no item 4.3.3, foi possível construir a Figura 32. Com ela, nota-se que com o aumento da porcentagem de cal aumentou a resistência, sendo que a maior taxa de ganho de resistência ocorreu de 7 a 11%. Pode-se também gerar um modelo com R^2 igual a 0,99, que descreve a resistência em função do teor de cal.

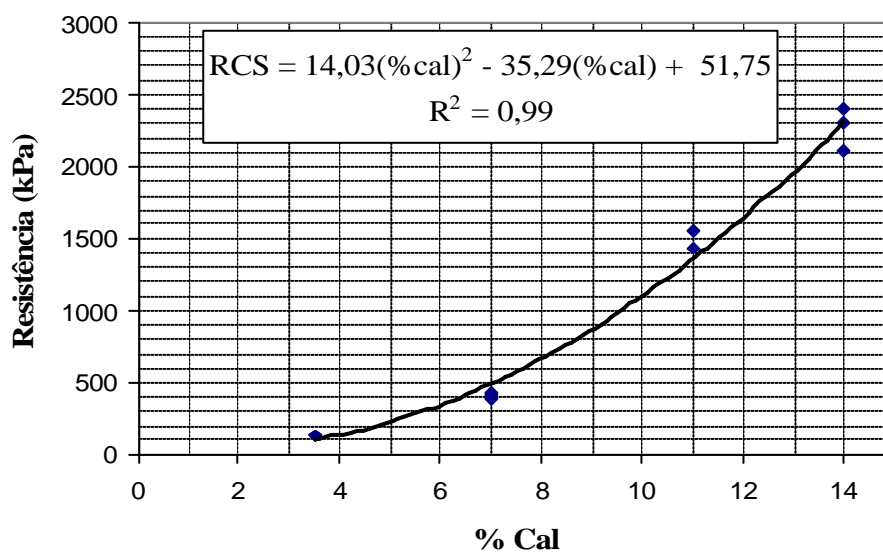


Figura 32: Relação entre resistência à compressão e porcentagem de cal

4.3.5.2 Influência do tempo de cura

Com os dados do ensaio de RCS com variação do tempo de cura e, apresentados no item 4.3.3, foi possível construir a Figura 33. Com ela, observou-se que com o aumento do período de cura aumentou a resistência, sendo que a maior taxa de acréscimo de RCS ocorreu entre 7 e 28 dias e, a partir dos 28 dias, há uma estabilização da curva. Ressalta-se que a temperatura da cura foi de 50 °C.

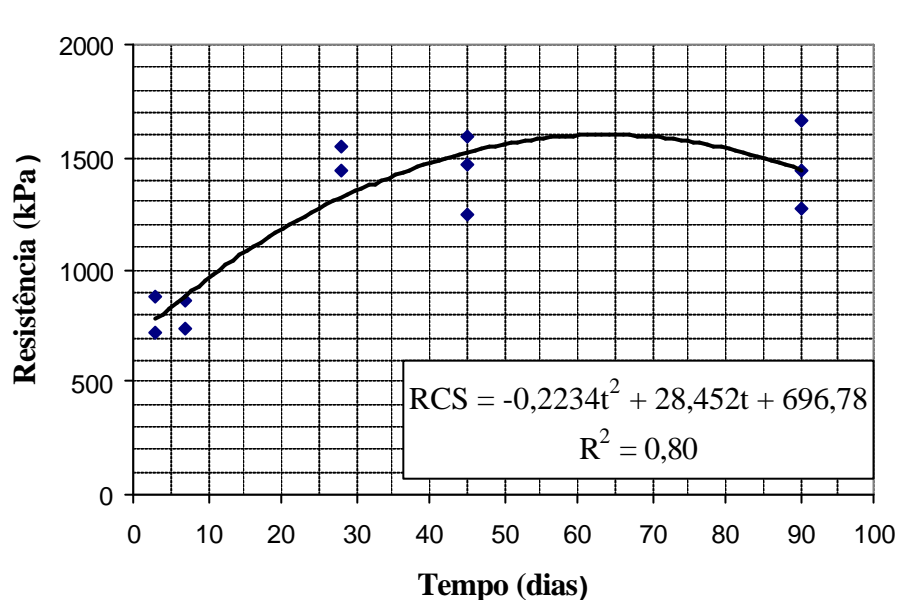


Figura 33: Relação entre resistência à compressão e tempo de cura

4.3.5.3 Influência da adição de fibra

Comparando a RCS para solo-cal 11% com a composição onde se adiciona 0,5% de fibra, (1496,30 e 1284,34 respectivamente), observou-se uma redução de 14,30% quando a fibra é adicionada à composição.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÃO

Com a execução e análise dos ensaios, pôde-se chegar às conclusões subseqüentes:

a) Compactação

No ensaio de compactação, a adição da cal aumenta a umidade ótima e diminuiu a densidade máxima, sendo que a adição da fibra diminuiu a umidade e aumenta a densidade;

Quando o composto for solo-cal-fibra nota-se a redução da densidade máxima, em relação a mistura solo-cal, deixando maiores espaços de vazios, devido à adição de um material leve e fibroso.

b) Resistência

A cal proporciona um aumento da coesão e do ângulo de atrito das misturas, porém, quando adicionando fibra à composição, o ângulo de atrito tem uma pequena queda.

Para os compostos que continham fibra, notou-se o aumento sensível da resistência em relação ao solo-compactado, tornando-se um material ainda mais dúctil.

Em relação ao tempo de cura, houve ganho da resistência média, de 800 kPa aos 3 dias para 801 kPa para 7 dias, aumentando significativamente para 1496 kPa com 28 dias e estabilizando-se em 1437 kPa e 1458 kPa dos 45 dias aos 90 dias, sendo que a maior taxa de acréscimo de RCS ocorreu de 7 a 28 dias, ocorrendo a estabilização da curva após este período.

Com o aumento da adição da cal, aumentou-se a resistência à compressão simples, sendo que foi encontrado para 3,5 % de cal um valor de 129 kPa, para 7 % de cal 409 kPa, para 11% de cal 1496 kPa, para de 14 % de cal 2271 kPa, sendo que a maior taxa de ganho de resistência ocorreu de 7 a 11%. Pode-se também gerar um modelo com R^2 igual a 0,99, que descreve a resistência em função do teor de cal.

Para a comparação do composto solo-cal 11% com o mesmo, porém adicionando 0,5% de fibra, observou-se uma redução de 14,30 % da RCS.

O uso de solo-fibra é adequado quando se busca não apenas resistência, porém, para que ela se mantenha estável, pode ser empregado para construção de muros de arrimo, taludes com grande inclinação e outros fins, que sejam econômicos e possíveis de se utilizarem desta técnica.

A mistura de solo-cal é adequada quando se quer uma alta resistência de pico, porém, devido a sua alta rigidez, acaba causando fissuração. No entanto, para resolver isso, pode-se utilizar a mistura de solo-cal-fibra que, ao mesmo tempo, dá grande resistência de pico e manutenção, mostrando ser um ótimo material para usar em fundações superficiais, muros de arrimo, pavimentação, taludes com grandes inclinações, regularização para evitar erosão, dentre outros que, ao mesmo tempo, pode mostrar economia e satisfação das propriedades necessárias.

Na construção civil todo dia o profissional se depara com a necessidade de resolver problemas, estes devem ser resolvidos com menor tempo e custo. Para isso, há a necessidade de antes do uso destas técnicas se fazer um estudo verificando a viabilidade econômica de cada uma delas, decidindo sempre por aquela que aliar segurança à economia.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para a continuidade da pesquisa:

Avaliar a influência da velocidade de ensaio nos parâmetros de cisalhamento direto;

Avaliar a influência da porcentagem de fibra nos ensaios que foram demonstrados neste trabalho;

Avaliar a influência do comprimento da fibra nos ensaios que foram demonstrados neste trabalho;

Avaliar a influência da porcentagem de umidade nos parâmetros de cisalhamento direto e compressão simples para as amostras estudadas neste trabalho;

Realizar estudo de estabilização com cimento Portland;

Testar permeabilidade;

Testar outros tipos de Solos;

Fazer testes executando fundações superficiais tipo radier;

Analisar a viabilidade econômica em empreendimentos contendo fibra e cal;

Fazer trechos experimentais em rodovias;

Executar muros experimentais com as misturas estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175**: Cal Hidratada – Especificações - Comitê Brasileiro de Construção Civil. **S.I.**: 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo-Ensaio de compactação - Comissão de Estudo de Índice de Suporte Califórnia de Solos - Comitê Brasileiro de Construção Civil. **S.I.**: 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12025**: Solo-Cimento - Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos - Comissão de Estudo de Pavimentação em Solo-Cimento - Comitê Brasileiro de Construção Civil: 1990.

BONAFÉ, L. et al. **Estudo da Resistência de Um Solo Compactado**. Relatório de Estágio Supervisionado II- Curso de Engenharia Civil – UNIJUÍ - Ijuí, 2003.

BRASIL. **Manual de Pavimentação**: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Divisão de Capacitação Tecnológica: 2. ed., Rio de Janeiro, 1996.

CAPPER, P. L. and CASSIE, W. F. **The Mechanics of Engineering Soils**. London, E. & F. N. Spon LTD, 1970. Tradução de João Luís da Providência Vilas Boas e Costa.

CAPUTO, H P. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. Fundamentos. 6.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1988.

CASANOVA, F. J. **Revista Técnica: Alvenaria de Solo-Cimento: A Revista do Engenheiro Civil**. Pini: 85. ed, p 30-36, 2004.

HEAD, K. H. **Manual of Soil Laboratory Testing**. London: Pentech Press, 1980-1986.

INGLES, O. G. and METCALF J. B. **Soil Stabilizations. Principles and Practice**: Sydney-Melbourne-Brisbane, 1972.

JOSÉ F. E. B. et. al. **Análise da Estabilização com Cal de Solos do Município de Limoeiro do Norte, Estado do Ceará**. Florianópolis: 33º Reunião Anual de Pavimentação, 2002.

MACHADO, S. L. MACHADO, M F. **Mecânica dos Solos I: conceitos básicos**. Salvador, 1997.

MACHADO, S L. MACHADO, M F. **Mecânica dos Solos II: conceitos básicos**. Salvador, 1997.

NARDI, J. V. **Materiais Cimentados a Serem Utilizados Como Bases e Sub-Bases de Pavimentos Rodoviários: Correlações Genéricas da Razão Entre as Resistências à Tração e à Compressão**. São Paulo: 34º Reunião Anual de Pavimentação, 2003.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000-02-15.

SPECHT, L P. et. al. **Comportamento de Misturas Solo-Cimento-Fibra Submetidas a Carregamentos Estáticos e Dinâmicos**. Dissertação de Mestrado – UFRGS - Porto Alegre, 2002.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos solos**. São Paulo: Editora McGraw – Hill do Brasil LTDA, 1914.

VENDRUSCOLO, M. A. **Estudo do Comportamento de Materiais Compósitos Fibrosos para Aplicação como Reforço de Base de Fundações Superficiais.** Tese de Doutorado – PPGEC/UFRGS - Porto Alegre, 2003.

VIECILI, C. **Determinação dos Parâmetros de Resistência do Solo de Ijuí a Partir do Ensaio de Cisalhamento Direto.** Trabalho de Conclusão de Curso- Curso de Engenharia Civil – UNIJÚÍ - Ijuí, 2003.

KUHLMAN, R. H. Cracking in soil cement – cause, effect, control. **Concrete International.** V.16, n.8, p 56-59, 1994.

WESSELING, D. H. et al. **Influência do Tempo de Cura na Resistência de Um Solo Estabilizado Com Cal.** Trabalho de Pesquisa - Curso de Engenharia Civil – UNIJÚÍ - Ijuí, 2002.

APÊNDICE A – Planilhas do Ensaio de Compactação



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
Aluno: Leandro Bonafé



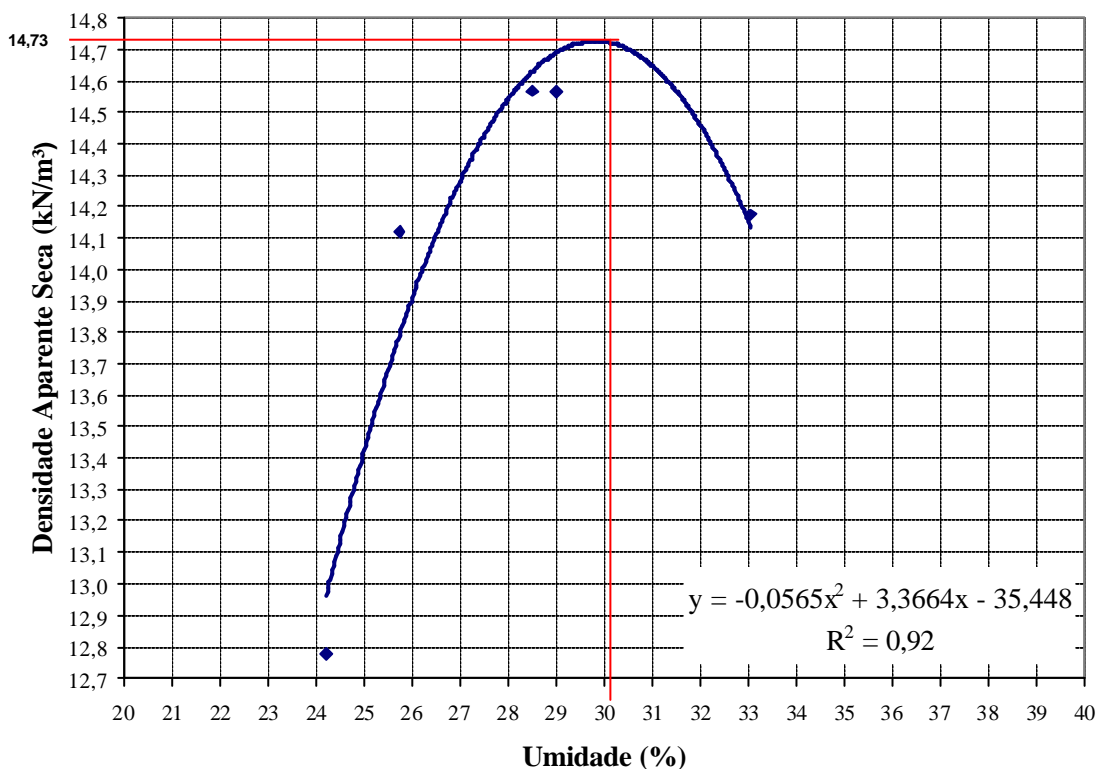
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

RESULTADOS		DADOS DE ENSAIO	
Densidade máxima aparente (kN/m ³)	14,73	Peso da amostra (g) :.....	2.500,00
Umidade ótima (%) :	30,00	Molde n°.: 10	Peso (g): 2.213,00
Observações : Solo-Compactado		Volume (dm ³) :.....	1,000
		Esforço de compactação:	Intermediário

ENSAIO

Ponto n°.	1	2	3	4	5	
Peso da amostra compactada mais peso cilindro -	3.800,00	3.988,00	4.085,00	4.092,00	4.099,00	
Peso da amostra compactada - g	1.587,00	1.775,00	1.872,00	1.879,00	1.886,00	
Densidade do solo úmido (Kg/dm ³) :	1,59	1,78	1,87	1,88	1,89	
DETERMINAÇÃO DE UMIDADE	Cápsula n°. :	26	24	61	29	22
	Peso do solo úmido + cápsula (g)	200,69	181,02	183,88	232,71	138,99
	Peso do solo seco + cápsula (g)	170,82	153,29	153,09	190,38	112,14
	Peso da água (g)	29,87	27,73	30,79	42,33	26,85
	Peso da cápsula (g)	47,47	45,51	45,07	44,44	30,91
	Peso do solo seco (g)	123,35	107,78	108,02	145,94	81,23
	Porcentagem de umidade (%)	24,22	25,73	28,50	29,01	33,05
Densidade do solo seco (kN/m ³)	12,78	14,12	14,57	14,57	14,17	

CURVA DE COMPACTAÇÃO - ENERGIA INTERMEDIÁRIA





TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
Aluno: Leandro Bonafé



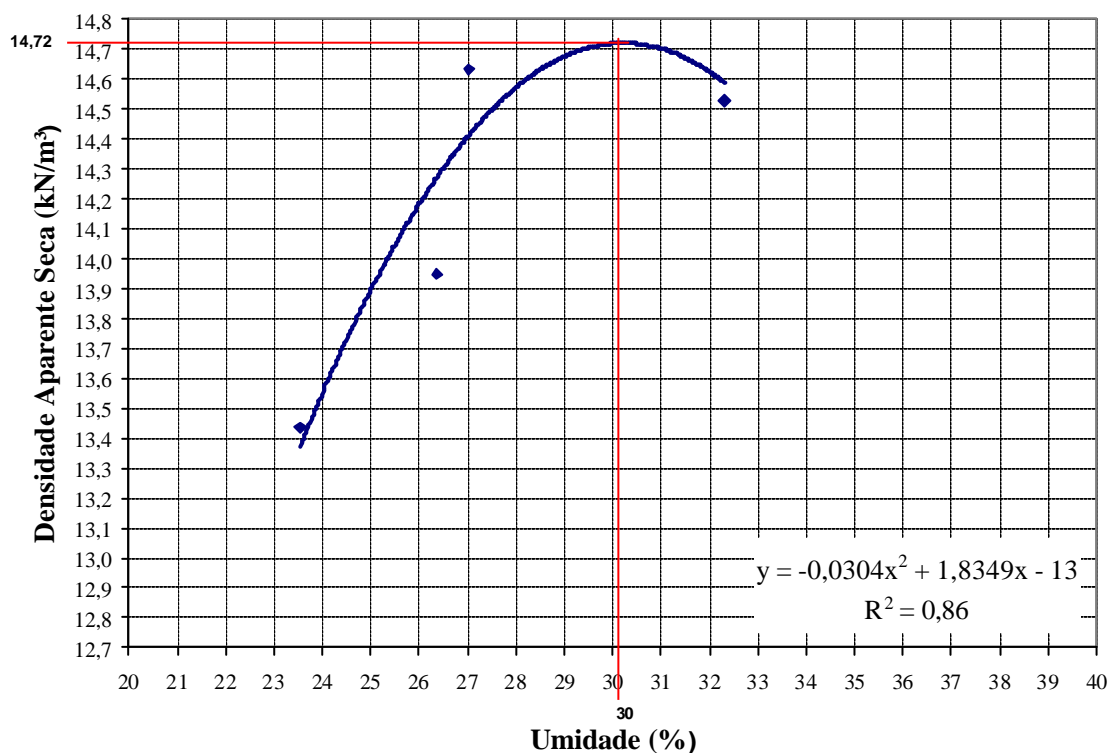
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

RESULTADOS		DADOS DE ENSAIO	
Densidade máxima aparente (kN/m ³)	14,72	Peso da amostra (g) :.....	2.500,00
Umidade ótima (%) :	30,00	Molde n°.: 10	Peso (g): 2.213,00
Observações : Solo-Fibra		Volume (dm ³) :.....	1,000
		Esforoço de compactação:	Intermediário

ENSAIO

Ponto n°.	1	2	3	4	5	
Peso da amostra compactada mais peso cilindro -	3.873,00	3.976,00	4.072,00	4.145,00	4.135,00	
Peso da amostra compactada - g	1.660,00	1.763,00	1.859,00	1.932,00	1.922,00	
Densidade do solo úmido (Kg/dm ³) :	1,66	1,76	1,86	1,93	1,92	
DETERMINAÇÃO DE UMIDADE	Cápsula n°. :	47	44	46	40	47
	Peso do solo úmido + cápsula (g)	84,69	77,51	84,71	74,03	68,17
	Peso do solo seco + cápsula (g)	71,82	64,95	70,76	61,11	55,68
	Peso da água (g)	12,87	12,56	13,95	12,92	12,49
	Peso da cápsula (g)	17,17	17,33	19,15	18,51	17,02
	Peso do solo seco (g)	54,65	47,62	51,61	42,60	38,66
	Percentagem de umidade (%)	23,55	26,38	27,03	30,33	32,31
Densidade do solo seco (kN/m ³)	13,44	13,95	14,63	14,82	14,53	

CURVA DE COMPACTAÇÃO - ENERGIA INTERMEDIÁRIA





TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
Aluno: Leandro Bonafé



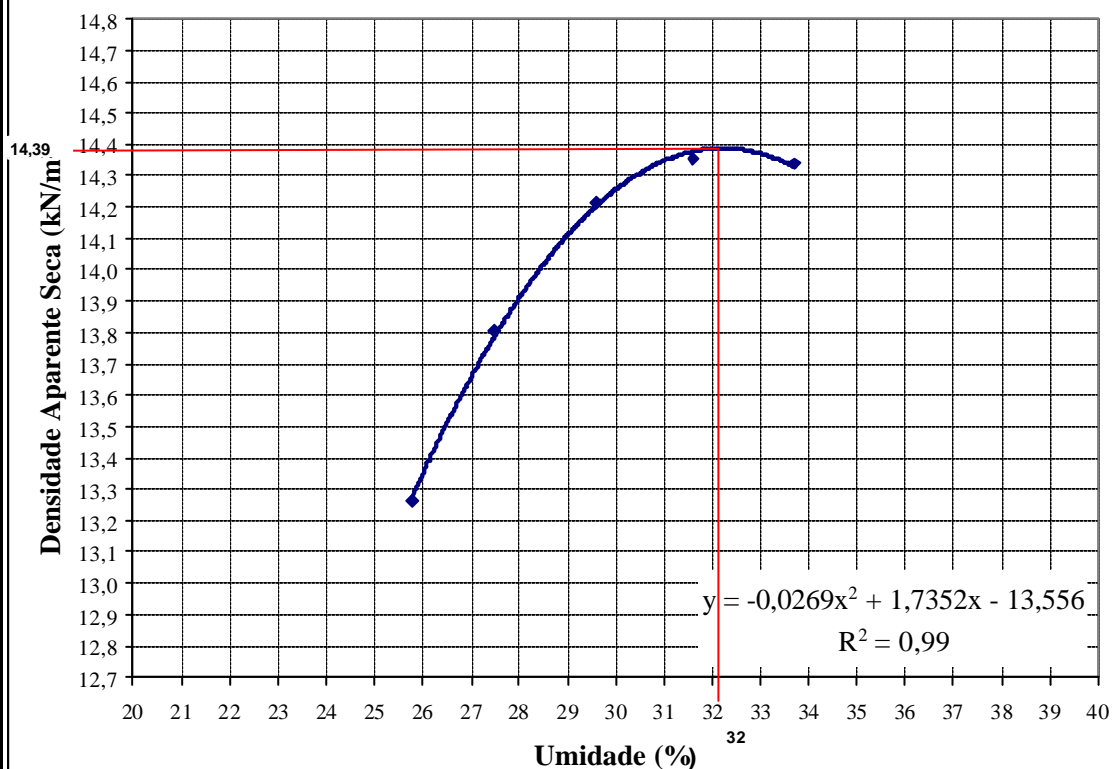
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

RESULTADOS		DADOS DE ENSAIO	
Densidade máxima aparente (kN/m ³)	14,39	Peso da amostra (g) :.....	2.500,00
Umidade ótima (%) :	32,00	Molde n°: 10	Peso (g): 2.213,00
Observações : Solo-Cal		Volume (dm ³) :.....	1,000
		Esforo de compactação:	Intermediário

ENSAIO

Ponto n°.	1	2	3	4	5	
Peso da amostra compactada mais peso cilindro -	3.881,00	3.973,00	4.055,00	4.102,00	4.130,00	
Peso da amostra compactada - g	1.668,00	1.760,00	1.842,00	1.889,00	1.917,00	
Densidade do solo úmido (Kg/dm ³) :	1,67	1,76	1,84	1,89	1,92	
DETERMINAÇÃO DE UMIDADE	Cápsula n° :	58	41	53	54	49
	Peso do solo úmido + cápsula (g)	116,92	88,58	111,47	106,02	90,19
	Peso do solo seco + cápsula (g)	97,19	73,28	90,37	85,25	72,27
	Peso da água (g)	19,73	15,30	21,10	20,77	17,92
	Peso da cápsula (g)	20,63	17,64	19,08	19,52	19,10
	Peso do solo seco (g)	76,56	55,64	71,29	65,73	53,17
	Porcentagem de umidade (%)	25,77	27,50	29,60	31,60	33,70
Densidade do solo seco (kN/m ³)	13,26	13,80	14,21	14,35	14,34	

CURVA DE COMPACTAÇÃO - ENERGIA INTERMEDIÁRIA





TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
Aluno: Leandro Bonafé



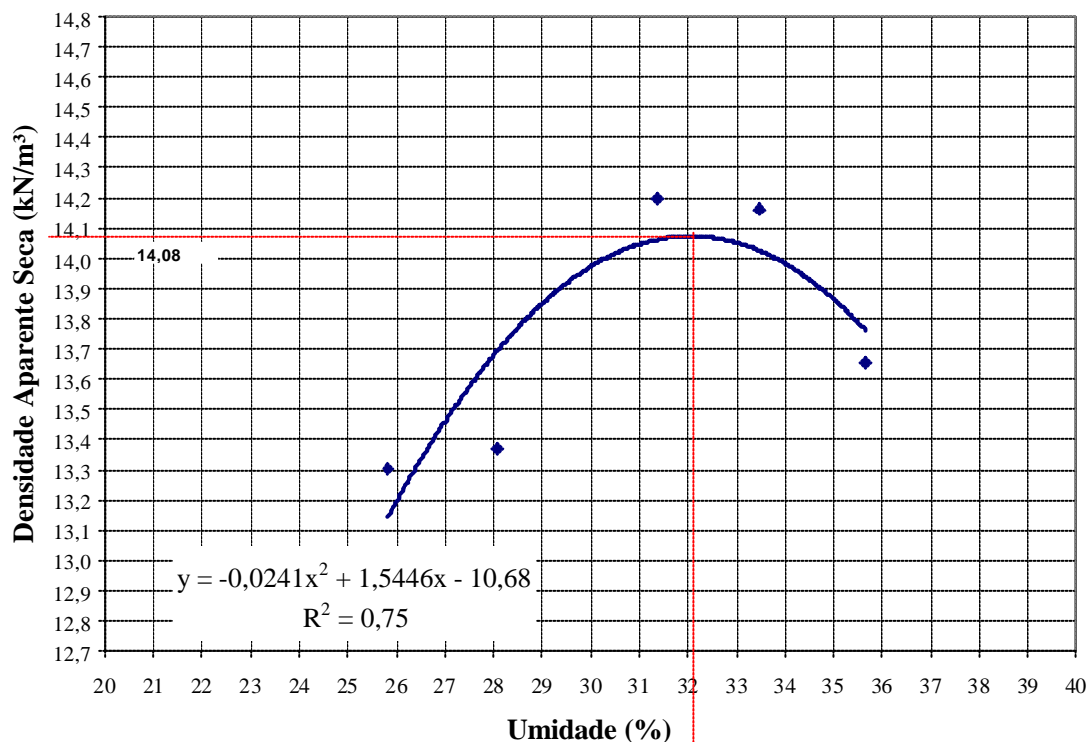
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

RESULTADOS			DADOS DE ENSAIO	
Densidade máxima aparente (kN/m ³)	14,08		Peso da amostra (g) :.....	2.500,00
Umidade ótima (%) :	32,00		Molde n°.: 10	Peso (g): 2.213,00
Observações : Solo-Cal-Fibra			Volume (dm ³) :.....	1,000
		Esforo de compactação:		Intermediário

ENSAIO

Ponto n°.		1	2	3	4	5
Peso da amostra compactada mais peso cilindro -		3.887,00	3.925,00	4.078,00	4.103,00	4.065,00
Peso da amostra compactada - g		1.674,00	1.712,00	1.865,00	1.890,00	1.852,00
Densidade do solo úmido (Kg/dm ³) :		1,67	1,71	1,87	1,89	1,85
DETERMINAÇÃO DE UMIDADE	Cápsula n°. :	47	46	40	42	44
	Peso do solo úmido + cápsula (g)	72,80	76,28	81,91	64,94	77,81
	Peso do solo seco + cápsula (g)	61,36	63,43	66,73	52,68	61,88
	Peso da água (g)	11,44	12,85	15,18	12,26	15,93
	Peso da cápsula (g)	17,08	17,65	18,33	16,04	17,20
	Peso do solo seco (g)	44,28	45,78	48,40	36,64	44,68
Percentagem de umidade (%)		25,84	28,07	31,36	33,46	35,65
Densidade do solo seco (kN/m ³)		13,30	13,37	14,20	14,16	13,65

CURVA DE COMPACTAÇÃO - ENERGIA INTERMEDIÁRIA



APÊNDICE B – Planilhas do Ensaio de Cisalhamento Direto

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJIÚ/RS

Local: __ Campus Amostra: __ Solo Cal 30 SC-03
 Data: __ 11/02/2004 e 17/03/2004 Volume: 50,24
 Profundidade retirada da amostra (m): __ 2
 Carga normal (kgf): _____ 7,65 Pressão vertical (kPa): ____ 30
 P. vazador + amostra (g): __ 181,15 P. vazador: 85,85 P. amostra (g): 95,3
 Velocidade do ensaio (mm/min): _____ 0,031 γ_d (kN/m³): 14,370
 Compr./Larg./Altura da amostra (cm): __ 5,05 x 5,05 x 1,97 γ_n (kN/m³): 18,969
 $\gamma_{d_{m\acute{a}x}}$ (kN/m³): 14,390
 GC(%): 100
 Condições do ensaio: - Natural () - Inundado (X) - Residual ()

Determinação da umidade:	ANTES ENSAIO		DEPOIS ENSAIO	
Nº da cápsula:	0	0	44	40
Peso da cápsula (g):	0	0	17,21	18,35
Cáp. + solo úmido (g):	0	0	65,27	64,01
Cáp. + solo seco (g):	0	0	52,57	51,76
Teor de umidade médio (%):	32,00		36,29	

Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	Anel (kgf)	Área (cm ²)	Tensão (kPa)
6	5	0	0	0		25,5025	0,0000
6,1	5	0,29	0,1	0	5,63506	25,452	22,1399
6,2	5	0,55	0,2	0	12,1153	25,4015	47,6952
6,3	5,015	0,87	0,3	0,015	20,09098	25,351	79,2512
6,4	5,05	1,29	0,4	0,05	30,55906	25,3005	120,7844
6,5	5,12	1,55	0,5	0,12	37,0393	25,25	146,6903
6,6	5,26	1,74	0,6	0,26	41,77486	25,1995	165,7765
6,7	5,39	1,71	0,7	0,39	41,02714	25,149	163,1363
6,8	5,51	1,69	0,8	0,51	40,52866	25,0985	161,4784
6,9	5,59	1,37	0,9	0,59	32,55298	25,048	129,9624
7	5,62	0,84	1	0,62	19,34326	24,9975	77,3808
7,1	5,32	0,82	1,1	0,32	18,84478	24,947	75,5393
7,2	5,33	0,81	1,2	0,33	18,59554	24,8965	74,6914
7,3	5,35	0,81	1,3	0,35	18,59554	24,846	74,8432
7,4	5,37	0,8	1,4	0,37	18,3463	24,7955	73,9904
7,5	5,39	0,76	1,5	0,39	17,34934	24,745	70,1125
7,6	5,4	0,74	1,6	0,4	16,85086	24,6945	68,2373
7,7	5,43	0,74	1,7	0,43	16,85086	24,644	68,3771
7,8	5,45	0,74	1,8	0,45	16,85086	24,5935	68,5175
7,9	5,47	0,73	1,9	0,47	16,60162	24,543	67,6430
8	5,49	0,73	2	0,49	16,60162	24,4925	67,7825
8,1	5,52	0,73	2,1	0,52	16,60162	24,442	67,9225
8,2	5,54	0,71	2,2	0,54	16,10314	24,3915	66,0195
8,3	5,56	0,71	2,3	0,56	16,10314	24,341	66,1564
8,4	5,59	0,71	2,4	0,59	16,10314	24,2905	66,2940
8,5	5,62	0,7	2,5	0,62	15,8539	24,24	65,4039
8,6	5,64	0,67	2,6	0,64	15,10618	24,1895	62,4493
8,7	5,66	0,65	2,7	0,66	14,6077	24,139	60,5149
8,8	5,68	0,64	2,8	0,68	14,35846	24,0885	59,6071
8,9	5,7	0,63	2,9	0,7	14,10922	24,038	58,6955
9	5,72	0,62	3	0,72	13,85998	23,9875	57,7800
9,1	5,74	0,61	3,1	0,74	13,61074	23,937	56,8607
9,2	5,76	0,61	3,2	0,76	13,61074	23,8865	56,9809
9,3	5,79	0,61	3,3	0,79	13,61074	23,836	57,1016
9,4	5,81	0,6	3,4	0,81	13,3615	23,7855	56,1750

9,5	5,83	0,6	3,5	0,83	13,3615	23,735	56,2945
9,6	5,85	0,59	3,6	0,85	13,11226	23,6845	55,3622
9,7	5,87	0,59	3,7	0,87	13,11226	23,634	55,4805
9,8	5,89	0,59	3,8	0,89	13,11226	23,5835	55,5993
9,9	5,91	0,59	3,9	0,91	13,11226	23,533	55,7186
10	5,93	0,59	4	0,93	13,11226	23,4825	55,8384
10,1	5,95	0,59	4,1	0,95	13,11226	23,432	55,9588
10,2	5,97	0,59	4,2	0,97	13,11226	23,3815	56,0796
10,3	5,98	0,6	4,3	0,98	13,3615	23,331	57,2693
10,4	5,99	0,6	4,4	0,99	13,3615	23,2805	57,3935
10,5	6	0,6	4,5	1	13,3615	23,23	57,5183
10,6	6,01	0,59	4,6	1,01	13,11226	23,1795	56,5683
10,7	6,03	0,57	4,7	1,03	12,61378	23,129	54,5366
10,8	6,04	0,57	4,8	1,04	12,61378	23,0785	54,6560
10,9	6,06	0,56	4,9	1,06	12,36454	23,028	53,6935
11	6,07	0,56	5	1,07	12,36454	22,9775	53,8115
11,2	6,09	0,56	5,2	1,09	12,36454	22,8765	54,0491
11,4	6,13	0,56	5,4	1,13	12,36454	22,7755	54,2888
11,6	6,17	0,55	5,6	1,17	12,1153	22,6745	53,4314
11,8	6,2	0,55	5,8	1,2	12,1153	22,5735	53,6705
12	6,24	0,54	6	1,24	11,86606	22,4725	52,8026
12,2	6,27	0,55	6,2	1,27	12,1153	22,3715	54,1551
12,4	6,31	0,55	6,4	1,31	12,1153	22,2705	54,4007
12,6	6,35	0,55	6,6	1,35	12,1153	22,1695	54,6485
12,8	6,38	0,55	6,8	1,38	12,1153	22,0685	54,8986
13	6,41	0,55	7	1,41	12,1153	21,9675	55,1510
13,2	6,43	0,55	7,2	1,43	12,1153	21,8665	55,4058
13,4	6,46	0,55	7,4	1,46	12,1153	21,7655	55,6629
13,6	6,5	0,55	7,6	1,5	12,1153	21,6645	55,9224
13,8	6,54	0,55	7,8	1,54	12,1153	21,5635	56,1843
14	6,58	0,55	8	1,58	12,1153	21,4625	56,4487
14,2	6,61	0,55	8,2	1,61	12,1153	21,3615	56,7156
14,4	6,65	0,55	8,4	1,65	12,1153	21,2605	56,9850
14,6	6,7	0,55	8,6	1,7	12,1153	21,1595	57,2570
14,8	6,73	0,54	8,8	1,73	11,86606	21,0585	56,3481
15	6,75	0,53	9	1,75	11,61682	20,9575	55,4304
15,2	6,75	0,53	9,2	1,75	11,61682	20,8565	55,6988
15,4	6,76	0,53	9,4	1,76	11,61682	20,7555	55,9698
15,6	6,76	0,52	9,6	1,76	11,36758	20,6545	55,0368
15,8	6,77	0,52	9,8	1,77	11,36758	20,5535	55,3073
16	6,78	0,52	10	1,78	11,36758	20,4525	55,5804

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJIÚ/RS

Local: __ Campus Amostra: __ Solo Cal 60 SC-01
 Data: __ 11/02/2004 e 16/03/2004 Volume: 50,24
 Profundidade retirada da amostra (m): __ 2
 Carga normal (kgf): _____ 15,3 Pressão vertical (kPa): ____ 60
 P. vazador + amostra (g): __ 181,14 P. vazador: 85,85 P. amostra (g): 95,29
 Velocidade do ensaio (mm/min): _____ 0,031 γ_d (kN/m³): 14,369
 Compr./Larg./Altura da amostra (cm): __ 5,05 x 5,05 x 1,97 γ_n (kN/m³): 18,967
 $\gamma_{d_{m\acute{a}x}}$ (kN/m³): 14,390
 GC(%): 100

Condições do ensaio: - Natural () - Inundado (X) - Residual ()

Determinação da umidade:	ANTES ENSAIO		DEPOIS ENSAIO	
Nº da cápsula:	0	0	41	42
Peso da cápsula (g):	0	0	17,65	16,01
Cáp. + solo úmido (g):	0	0	63,77	63,71
Cáp. + solo seco (g):	0	0	51,2	50,85
Teor de umidade médio (%):	32,00		37,19	

Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	Anel (kgf)	Área (cm ²)	Tensão (kPa)
6	6	0	0	0		25,5025	0,0000
6,1	6	0,25	0,1	0	4,6381	25,4520	18,2229
6,2	6	0,37	0,2	0	7,62898	25,4015	30,0336
6,3	6	0,65	0,3	0	14,6077	25,3510	57,6218
6,4	6,02	1,17	0,4	0,02	27,56818	25,3005	108,9630
6,5	6,03	1,5	0,5	0,03	35,7931	25,2500	141,7549
6,6	6,04	1,88	0,6	0,04	45,26422	25,1995	179,6235
6,7	6,055	2,02	0,7	0,055	48,75358	25,1490	193,8589
6,8	6,07	2,24	0,8	0,07	54,23686	25,0985	216,0960
6,9	6,09	2,14	0,9	0,09	51,74446	25,0480	206,5812
7	6,12	1,54	1	0,12	36,79006	24,9975	147,1750
7,1	6,14	1,33	1,1	0,14	31,55602	24,9470	126,4922
7,2	6,16	1,21	1,2	0,16	28,56514	24,8965	114,7356
7,3	6,18	1,06	1,3	0,18	24,82654	24,8460	99,9217
7,4	6,2	1,02	1,4	0,2	23,82958	24,7955	96,1045
7,5	6,21	1,06	1,5	0,21	24,82654	24,7450	100,3295
7,6	6,23	1	1,6	0,23	23,3311	24,6945	94,4789
7,7	6,25	0,98	1,7	0,25	22,83262	24,6440	92,6498
7,8	6,27	0,95	1,8	0,27	22,0849	24,5935	89,7997
7,9	6,28	0,94	1,9	0,28	21,83566	24,5430	88,9690
8	6,3	0,92	2	0,3	21,33718	24,4925	87,1172
8,1	6,31	0,91	2,1	0,31	21,08794	24,4420	86,2775
8,2	6,325	0,89	2,2	0,325	20,58946	24,3915	84,4124
8,3	6,355	0,88	2,3	0,355	20,34022	24,3410	83,5636
8,4	6,36	0,87	2,4	0,36	20,09098	24,2905	82,7113
8,5	6,37	0,86	2,5	0,37	19,84174	24,2400	81,8554
8,6	6,38	0,86	2,6	0,38	19,84174	24,1895	82,0263
8,7	6,39	0,85	2,7	0,39	19,5925	24,1390	81,1653
8,8	6,405	0,85	2,8	0,405	19,5925	24,0885	81,3355
8,9	6,42	0,84	2,9	0,42	19,34326	24,0380	80,4695
9	6,43	0,84	3	0,43	19,34326	23,9875	80,6389
9,1	6,445	0,83	3,1	0,445	19,09402	23,9370	79,7678
9,2	6,46	0,82	3,2	0,46	18,84478	23,8865	78,8930
9,3	6,47	0,82	3,3	0,47	18,84478	23,8360	79,0602
9,4	6,48	0,81	3,4	0,48	18,59554	23,7855	78,1802

9,5	6,49	0,8	3,5	0,49	18,3463	23,7350	77,2964
9,6	6,51	0,8	3,6	0,51	18,3463	23,6845	77,4612
9,7	6,525	0,8	3,7	0,525	18,3463	23,6340	77,6267
9,8	6,54	0,8	3,8	0,54	18,3463	23,5835	77,7929
9,9	6,55	0,8	3,9	0,55	18,3463	23,5330	77,9599
10	6,57	0,79	4	0,57	18,09706	23,4825	77,0662
10,1	6,58	0,79	4,1	0,58	18,09706	23,4320	77,2322
10,2	6,59	0,78	4,2	0,59	17,84782	23,3815	76,3331
10,3	6,605	0,78	4,3	0,605	17,84782	23,3310	76,4983
10,4	6,62	0,78	4,4	0,62	17,84782	23,2805	76,6642
10,5	6,635	0,78	4,5	0,635	17,84782	23,2300	76,8309
10,6	6,65	0,77	4,6	0,65	17,59858	23,1795	75,9230
10,7	6,66	0,77	4,7	0,66	17,59858	23,1290	76,0888
10,8	6,68	0,77	4,8	0,68	17,59858	23,0785	76,2553
10,9	6,7	0,76	4,9	0,7	17,34934	23,0280	75,3402
11	6,72	0,76	5	0,72	17,34934	22,9775	75,5058
11,2	6,74	0,75	5,2	0,74	17,1001	22,8765	74,7496
11,4	6,75	0,75	5,4	0,75	17,1001	22,7755	75,0811
11,6	6,77	0,74	5,6	0,77	16,85086	22,6745	74,3163
11,8	6,8	0,73	5,8	0,8	16,60162	22,5735	73,5447
12	6,83	0,73	6	0,83	16,60162	22,4725	73,8753
12,2	6,86	0,72	6,2	0,86	16,35238	22,3715	73,0947
12,4	6,9	0,71	6,4	0,9	16,10314	22,2705	72,3070
12,6	6,925	0,7	6,6	0,925	15,8539	22,1695	71,5122
12,8	6,945	0,7	6,8	0,945	15,8539	22,0685	71,8395
13	6,97	0,69	7	0,97	15,60466	21,9675	71,0352
13,2	7	0,69	7,2	1	15,60466	21,8665	71,3633
13,4	7,02	0,68	7,4	1,02	15,35542	21,7655	70,5494
13,6	7,05	0,67	7,6	1,05	15,10618	21,6645	69,7278
13,8	7,07	0,67	7,8	1,07	15,10618	21,5635	70,0544
14	7,095	0,67	8	1,095	15,10618	21,4625	70,3841
14,2	7,115	0,67	8,2	1,115	15,10618	21,3615	70,7169
14,4	7,135	0,67	8,4	1,135	15,10618	21,2605	71,0528
14,6	7,15	0,67	8,6	1,15	15,10618	21,1595	71,3920
14,8	7,17	0,66	8,8	1,17	14,85694	21,0585	70,5508
15	7,19	0,67	9	1,19	15,10618	20,9575	72,0801
15,2	7,205	0,67	9,2	1,205	15,10618	20,8565	72,4291
15,4	7,225	0,68	9,4	1,225	15,35542	20,7555	73,9824
15,6	7,24	0,68	9,6	1,24	15,35542	20,6545	74,3442
15,8	7,26	0,67	9,8	1,26	15,10618	20,5535	73,4969
16	7,28	0,68	10	1,28	15,35542	20,4525	75,0785

8,5	6,33	1,18	3,5	0,33	27,81742	23,7350	117,2000
8,6	6,34	1,15	3,6	0,34	27,0697	23,6845	114,2929
8,7	6,345	1,14	3,7	0,345	26,82046	23,6340	113,4825
8,8	6,35	1,14	3,8	0,35	26,82046	23,5835	113,7255
8,9	6,35	1,13	3,9	0,35	26,57122	23,5330	112,9105
9	6,36	1,12	4	0,36	26,32198	23,4825	112,0919
9,1	6,36	1,11	4,1	0,36	26,07274	23,4320	111,2698
9,2	6,37	1,11	4,2	0,37	26,07274	23,3815	111,5101
9,3	6,38	1,1	4,3	0,38	25,8235	23,3310	110,6832
9,4	6,39	1,1	4,4	0,39	25,8235	23,2805	110,9233
9,5	6,4	1,09	4,5	0,4	25,57426	23,2300	110,0915
9,6	6,41	1,08	4,6	0,41	25,32502	23,1795	109,2561
9,7	6,42	1,07	4,7	0,42	25,07578	23,1290	108,4171
9,8	6,43	1,05	4,8	0,43	24,5773	23,0785	106,4944
9,9	6,44	1,05	4,9	0,44	24,5773	23,0280	106,7279
10	6,44	1,04	5	0,44	24,32806	22,9775	105,8777
10,2	6,45	1,03	5,2	0,45	24,07882	22,8765	105,2557
10,4	6,46	1,02	5,4	0,46	23,82958	22,7755	104,6281
10,6	6,47	1,02	5,6	0,47	23,82958	22,6745	105,0942
10,8	6,48	1,02	5,8	0,48	23,82958	22,5735	105,5644
11	6,5	1,02	6	0,5	23,82958	22,4725	106,0388
11,2	6,52	1,02	6,2	0,52	23,82958	22,3715	106,5176
11,4	6,53	1,02	6,4	0,53	23,82958	22,2705	107,0007
11,6	6,54	1,02	6,6	0,54	23,82958	22,1695	107,4881
11,8	6,56	1	6,8	0,56	23,3311	22,0685	105,7213
12	6,57	1	7	0,57	23,3311	21,9675	106,2074
12,2	6,58	0,99	7,2	0,58	23,08186	21,8665	105,5581
12,4	6,591	0,96	7,4	0,591	22,33414	21,7655	102,6126
12,6	6,6	0,94	7,6	0,6	21,83566	21,6645	100,7900
12,8	6,61	0,92	7,8	0,61	21,33718	21,5635	98,9504
13	6,611	0,91	8	0,611	21,08794	21,4625	98,2548
13,2	6,64	0,9	8,2	0,64	20,8387	21,3615	97,5526
13,4	6,65	0,89	8,4	0,65	20,58946	21,2605	96,8437
13,6	6,66	0,88	8,6	0,66	20,34022	21,1595	96,1281
13,8	6,68	0,88	8,8	0,68	20,34022	21,0585	96,5891
14	6,69	0,88	9	0,69	20,34022	20,9575	97,0546
14,2	6,7	0,87	9,2	0,7	20,09098	20,8565	96,3296
14,4	6,71	0,87	9,4	0,71	20,09098	20,7555	96,7983
14,6	6,72	0,86	9,6	0,72	19,84174	20,6545	96,0650
14,8	6,73	0,87	9,8	0,73	20,09098	20,5535	97,7497
15	6,74	0,86	10	0,74	19,84174	20,4525	97,0138

8,5	3,185	2,1	3,5	0,185	50,7475	23,735	213,8087
8,6	3,19	2,08	3,6	0,19	50,24902	23,6845	212,1599
8,7	3,2	2,06	3,7	0,2	49,75054	23,634	210,5041
8,8	3,21	2,04	3,8	0,21	49,25206	23,5835	208,8412
8,9	3,22	2,02	3,9	0,22	48,75358	23,533	207,1711
9	3,23	2,01	4	0,23	48,50434	23,4825	206,5553
9,1	3,24	2,01	4,1	0,24	48,50434	23,432	207,0004
9,2	3,25	2	4,2	0,25	48,2551	23,3815	206,3815
9,3	3,26	2	4,3	0,26	48,2551	23,331	206,8283
9,4	3,265	1,99	4,4	0,265	48,00586	23,2805	206,2063
9,5	3,27	1,99	4,5	0,27	48,00586	23,23	206,6546
9,6	3,275	1,98	4,6	0,275	47,75662	23,1795	206,0296
9,7	3,28	1,92	4,7	0,28	46,26118	23,129	200,0137
9,8	3,285	1,91	4,8	0,285	46,01194	23,0785	199,3714
9,9	3,29	1,91	4,9	0,29	46,01194	23,028	199,8087
10	3,29	1,9	5	0,29	45,7627	22,9775	199,1631
10,2	3,3	1,9	5,2	0,3	45,7627	22,8765	200,0424
10,4	3,31	1,82	5,4	0,31	43,76878	22,7755	192,1748
10,6	3,33	1,78	5,6	0,33	42,77182	22,6745	188,6340
10,8	3,34	1,78	5,8	0,34	42,77182	22,5735	189,4780
11	3,38	1,75	6	0,38	42,0241	22,4725	187,0023
11,2	3,4	1,73	6,2	0,4	41,52562	22,3715	185,6184
11,4	3,46	1,71	6,4	0,46	41,02714	22,2705	184,2219
11,6	3,47	1,7	6,6	0,47	40,7779	22,1695	183,9369
11,8	3,48	1,69	6,8	0,48	40,52866	22,0685	183,6494
12	3,49	1,68	7	0,49	40,27942	21,9675	183,3591
12,2	3,46	1,66	7,2	0,46	39,78094	21,8665	181,9264
12,4	3,43	1,65	7,4	0,43	39,5317	21,7655	181,6255
12,6	3,4	1,64	7,6	0,4	39,28246	21,6645	181,3218
12,8	3,4	1,63	7,8	0,4	39,03322	21,5635	181,0152
13	3,41	1,62	8	0,41	38,78398	21,4625	180,7058
13,2	3,415	1,61	8,2	0,415	38,53474	21,3615	180,3934
13,4	3,42	1,61	8,4	0,42	38,53474	21,2605	181,2504
13,6	3,425	1,6	8,6	0,425	38,2855	21,1595	180,9376
13,8	3,42	1,59	8,8	0,42	38,03626	21,0585	180,6219
14	3,41	1,55	9	0,41	37,0393	20,9575	176,7353
14,2	3,405	1,54	9,2	0,405	36,79006	20,8565	176,3961
14,4	3,405	1,54	9,4	0,405	36,79006	20,7555	177,2545
14,6	3,4	1,53	9,6	0,4	36,54082	20,6545	176,9146
14,8	3,4	1,53	9,8	0,4	36,54082	20,5535	177,7839
15	3,4	1,53	10	0,4	36,54082	20,4525	178,6619

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJIÚ/RS

Local: __ Campus Amostra: __ Solo Fibra 30
 Data: __ 08/03/2004 e 09/03/2004 Volume: 50,24
 Profundidade retirada da amostra (m): __ 2
 Carga normal (kgf): _____ 7,65 Pressão vertical (kPa): ____ 30
 P. vazador + amostra (g): __ 181,25 P. vazador: 85,85 P. amostra (g): 95,4
 Velocidade do ensaio (mm/min): _____ 0,031 γ_d (kN/m³): 14,607
 Compr./Larg./Altura da amostra (cm): __ 5,05 x 5,05 x 1,97 γ_n (kN/m³): 18,989
 $\gamma_{d_{máx}}$ (kN/m³): 14,720
 GC(%): 99
 Condições do ensaio: - Natural () - Inundado (X) - Residual ()

Determinação da umidade:	ANTES ENSAIO		DEPOIS ENSAIO	
Nº da cápsula:	0	0	51	56
Peso da cápsula (g):	0	0	23,49	21,81
Cáp. + solo úmido (g):	0	0	71,6	74,19
Cáp. + solo seco (g):	0	0	56,73	58,56
Teor de umidade médio (%):	30,00		43,63	

Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	Anel (kgf)	Área (cm ²)	Tensão (kPa)
5	5	0	0	0		25,5025	0,0000
5,1	5	0,21	0,1	0	3,64114	25,452	14,3059
5,2	5	0,31	0,2	0	6,13354	25,4015	24,1464
5,3	5	0,4	0,3	0	8,3767	25,351	33,0429
5,4	5	0,47	0,4	0	10,12138	25,3005	40,0047
5,5	5,005	0,51	0,5	0,005	11,11834	25,25	44,0330
5,6	5,02	0,55	0,6	0,02	12,1153	25,1995	48,0775
5,7	5,035	0,59	0,7	0,035	13,11226	25,149	52,1383
5,8	5,05	0,61	0,8	0,05	13,61074	25,0985	54,2293
5,9	5,06	0,61	0,9	0,06	13,61074	25,048	54,3386
6	5,07	0,61	1	0,07	13,61074	24,9975	54,4484
6,1	5,08	0,59	1,1	0,08	13,11226	24,947	52,5605
6,2	5,09	0,58	1,2	0,09	12,86302	24,8965	51,6660
6,3	5,1	0,57	1,3	0,1	12,61378	24,846	50,7678
6,4	5,11	0,56	1,4	0,11	12,36454	24,7955	49,8661
6,5	5,12	0,55	1,5	0,12	12,1153	24,745	48,9606
6,6	5,13	0,53	1,6	0,13	11,61682	24,6945	47,0421
6,7	5,135	0,52	1,7	0,135	11,36758	24,644	46,1272
6,8	5,14	0,51	1,8	0,14	11,11834	24,5935	45,2084
6,9	5,15	0,51	1,9	0,15	11,11834	24,543	45,3015
7	5,16	0,51	2	0,16	11,11834	24,4925	45,3949
7,1	5,165	0,5	2,1	0,165	10,8691	24,442	44,4689
7,2	5,17	0,5	2,2	0,17	10,8691	24,3915	44,5610
7,3	5,18	0,49	2,3	0,18	10,61986	24,341	43,6295
7,4	5,185	0,49	2,4	0,185	10,61986	24,2905	43,7202
7,5	5,19	0,49	2,5	0,19	10,61986	24,24	43,8113
7,6	5,2	0,49	2,6	0,2	10,61986	24,1895	43,9028
7,7	5,2	0,49	2,7	0,2	10,61986	24,139	43,9946
7,8	5,205	0,49	2,8	0,205	10,61986	24,0885	44,0868
7,9	5,21	0,49	2,9	0,21	10,61986	24,038	44,1795
8	5,215	0,48	3	0,215	10,37062	23,9875	43,2334
8,1	5,22	0,48	3,1	0,22	10,37062	23,937	43,3246
8,2	5,22	0,48	3,2	0,22	10,37062	23,8865	43,4162
8,3	5,225	0,48	3,3	0,225	10,37062	23,836	43,5082
8,4	5,23	0,47	3,4	0,23	10,12138	23,7855	42,5527

8,5	5,23	0,48	3,5	0,23	10,37062	23,735	43,6934
8,6	5,23	0,48	3,6	0,23	10,37062	23,6845	43,7865
8,7	5,24	0,47	3,7	0,24	10,12138	23,634	42,8255
8,8	5,24	0,47	3,8	0,24	10,12138	23,5835	42,9172
8,9	5,24	0,47	3,9	0,24	10,12138	23,533	43,0093
9	5,245	0,47	4	0,245	10,12138	23,4825	43,1018
9,1	5,25	0,47	4,1	0,25	10,12138	23,432	43,1947
9,2	5,255	0,47	4,2	0,255	10,12138	23,3815	43,2880
9,3	5,26	0,47	4,3	0,26	10,12138	23,331	43,3817
9,4	5,265	0,47	4,4	0,265	10,12138	23,2805	43,4758
9,5	5,27	0,47	4,5	0,27	10,12138	23,23	43,5703
9,6	5,275	0,47	4,6	0,275	10,12138	23,1795	43,6652
9,7	5,28	0,47	4,7	0,28	10,12138	23,129	43,7606
9,8	5,285	0,46	4,8	0,285	9,87214	23,0785	42,7764
9,9	5,29	0,47	4,9	0,29	10,12138	23,028	43,9525
10	5,29	0,46	5	0,29	9,87214	22,9775	42,9644
10,2	5,3	0,46	5,2	0,3	9,87214	22,8765	43,1541
10,4	5,31	0,46	5,4	0,31	9,87214	22,7755	43,3454
10,6	5,32	0,46	5,6	0,32	9,87214	22,6745	43,5385
10,8	5,325	0,46	5,8	0,325	9,87214	22,5735	43,7333
11	5,33	0,46	6	0,33	9,87214	22,4725	43,9299
11,2	5,335	0,46	6,2	0,335	9,87214	22,3715	44,1282
11,4	5,34	0,46	6,4	0,34	9,87214	22,2705	44,3283
11,6	5,35	0,46	6,6	0,35	9,87214	22,1695	44,5303
11,8	5,35	0,46	6,8	0,35	9,87214	22,0685	44,7341
12	5,36	0,46	7	0,36	9,87214	21,9675	44,9398
12,2	5,365	0,46	7,2	0,365	9,87214	21,8665	45,1473
12,4	5,37	0,46	7,4	0,37	9,87214	21,7655	45,3568
12,6	5,37	0,45	7,6	0,37	9,6229	21,6645	44,4178
12,8	5,37	0,45	7,8	0,37	9,6229	21,5635	44,6259
13	5,375	0,45	8	0,375	9,6229	21,4625	44,8359
13,2	5,38	0,46	8,2	0,38	9,87214	21,3615	46,2146
13,4	5,385	0,45	8,4	0,385	9,6229	21,2605	45,2619
13,6	5,39	0,45	8,6	0,39	9,6229	21,1595	45,4779
13,8	5,39	0,45	8,8	0,39	9,6229	21,0585	45,6960
14	5,39	0,45	9	0,39	9,6229	20,9575	45,9163
14,2	5,4	0,43	9,2	0,4	9,12442	20,8565	43,7486
14,4	5,4	0,43	9,4	0,4	9,12442	20,7555	43,9615
14,6	5,4	0,43	9,6	0,4	9,12442	20,6545	44,1764
14,8	5,4	0,43	9,8	0,4	9,12442	20,5535	44,3935
15	5,4	0,43	10	0,4	9,12442	20,4525	44,6127

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJIÚ/RS

Local: __ Campus Amostra: __ Solo Fibra 60
 Data: __ 09/03/2004 e 10/03/2004 Volume: 50,24
 Profundidade retirada da amostra (m): __ 2
 Carga normal (kgf): _____ 15,3 Pressão vertical (kPa): ____ 60
 P. vazador + amostra (g): __ 180,75 P. vazador: 85,85 P. amostra (g): 94,9
 Velocidade do ensaio (mm/min): _____ 0,031 γ_d (kN/m³): 14,530
 Compr./Larg./Altura da amostra (cm): __ 5,05 x 5,05 x 1,97 γ_n (kN/m³): 18,889
 $\gamma_{d_{\max}}$ (kN/m³): 14,720
 GC(%): 99
 Condições do ensaio: - Natural () - Inundado (X) - Residual ()

Determinação da umidade:	ANTES ENSAIO		DEPOIS ENSAIO	
Nº da cápsula:	0	0	42	41
Peso da cápsula (g):	0	0	16,03	17,65
Cáp. + solo úmido (g):	0	0	67,2	64,07
Cáp. + solo seco (g):	0	0	52,33	50,87
Teor de umidade médio (%):	30,00		40,35	

Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	Anel (kgf)	Área (cm ²)	Tensão (kPa)
6	5	0	0	0		25,5025	0,0000
6,1	5	0,23	0,1	0	4,13962	25,4520	16,2644
6,2	5	0,36	0,2	0	7,37974	25,4015	29,0524
6,3	5	0,57	0,3	0	12,61378	25,3510	49,7565
6,4	5	0,63	0,4	0	14,10922	25,3005	55,7666
6,5	5	0,7	0,5	0	15,8539	25,2500	62,7877
6,6	5,005	0,75	0,6	0,005	17,1001	25,1995	67,8589
6,7	5,015	0,79	0,7	0,015	18,09706	25,1490	71,9594
6,8	5,03	0,82	0,8	0,03	18,84478	25,0985	75,0833
6,9	5,04	0,86	0,9	0,04	19,84174	25,0480	79,2149
7	5,05	0,87	1	0,05	20,09098	24,9975	80,3720
7,1	5,07	0,88	1,1	0,07	20,34022	24,9470	81,5337
7,2	5,08	0,87	1,2	0,08	20,09098	24,8965	80,6980
7,3	5,095	0,86	1,3	0,095	19,84174	24,8460	79,8589
7,4	5,105	0,85	1,4	0,105	19,5925	24,7955	79,0164
7,5	5,115	0,83	1,5	0,115	19,09402	24,7450	77,1631
7,6	5,125	0,83	1,6	0,125	19,09402	24,6945	77,3209
7,7	5,135	0,83	1,7	0,135	19,09402	24,6440	77,4794
7,8	5,14	0,82	1,8	0,14	18,84478	24,5935	76,6250
7,9	5,145	0,82	1,9	0,145	18,84478	24,5430	76,7827
8	5,15	0,82	2	0,15	18,84478	24,4925	76,9410
8,1	5,16	0,82	2,1	0,16	18,84478	24,4420	77,1000
8,2	5,165	0,82	2,2	0,165	18,84478	24,3915	77,2596
8,3	5,17	0,81	2,3	0,17	18,59554	24,3410	76,3960
8,4	5,18	0,82	2,4	0,18	18,84478	24,2905	77,5809
8,5	5,19	0,82	2,5	0,19	18,84478	24,2400	77,7425
8,6	5,195	0,81	2,6	0,195	18,59554	24,1895	76,8744
8,7	5,2	0,82	2,7	0,2	18,84478	24,1390	78,0678
8,8	5,202	0,81	2,8	0,202	18,59554	24,0885	77,1968
8,9	5,208	0,81	2,9	0,208	18,59554	24,0380	77,3589
9	5,212	0,82	3	0,212	18,84478	23,9875	78,5608
9,1	5,22	0,81	3,1	0,22	18,59554	23,9370	77,6853
9,2	5,23	0,81	3,2	0,23	18,59554	23,8865	77,8496
9,3	5,235	0,81	3,3	0,235	18,59554	23,8360	78,0145
9,4	5,24	0,81	3,4	0,24	18,59554	23,7855	78,1802

9,5	5,245	0,81	3,5	0,245	18,59554	23,7350	78,3465
9,6	5,25	0,81	3,6	0,25	18,59554	23,6845	78,5135
9,7	5,257	0,8	3,7	0,257	18,3463	23,6340	77,6267
9,8	5,26	0,8	3,8	0,26	18,3463	23,5835	77,7929
9,9	5,265	0,8	3,9	0,265	18,3463	23,5330	77,9599
10	5,27	0,8	4	0,27	18,3463	23,4825	78,1275
10,1	5,28	0,8	4,1	0,28	18,3463	23,4320	78,2959
10,2	5,295	0,8	4,2	0,295	18,3463	23,3815	78,4650
10,3	5,29	0,79	4,3	0,29	18,09706	23,3310	77,5666
10,4	5,29	0,79	4,4	0,29	18,09706	23,2805	77,7348
10,5	5,295	0,79	4,5	0,295	18,09706	23,2300	77,9038
10,6	5,3	0,78	4,6	0,3	17,84782	23,1795	76,9983
10,7	5,302	0,79	4,7	0,302	18,09706	23,1290	78,2440
10,8	5,305	0,78	4,8	0,305	17,84782	23,0785	77,3353
10,9	5,31	0,79	4,9	0,31	18,09706	23,0280	78,5872
11	5,315	0,79	5	0,315	18,09706	22,9775	78,7599
11,2	5,325	0,78	5,2	0,325	17,84782	22,8765	78,0181
11,4	5,335	0,78	5,4	0,335	17,84782	22,7755	78,3641
11,6	5,345	0,76	5,6	0,345	17,34934	22,6745	76,5148
11,8	5,35	0,77	5,8	0,35	17,59858	22,5735	77,9612
12	5,36	0,76	6	0,36	17,34934	22,4725	77,2025
12,2	5,37	0,77	6,2	0,37	17,59858	22,3715	78,6652
12,4	5,38	0,76	6,4	0,38	17,34934	22,2705	77,9028
12,6	5,39	0,76	6,6	0,39	17,34934	22,1695	78,2577
12,8	5,395	0,76	6,8	0,395	17,34934	22,0685	78,6159
13	5,398	0,76	7	0,398	17,34934	21,9675	78,9773
13,2	5,4	0,75	7,2	0,4	17,1001	21,8665	78,2023
13,4	5,402	0,76	7,4	0,402	17,34934	21,7655	79,7103
13,6	5,41	0,76	7,6	0,41	17,34934	21,6645	80,0819
13,8	5,415	0,75	7,8	0,415	17,1001	21,5635	79,3011
14	5,42	0,75	8	0,42	17,1001	21,4625	79,6743
14,2	5,425	0,75	8,2	0,425	17,1001	21,3615	80,0510
14,4	5,43	0,75	8,4	0,43	17,1001	21,2605	80,4313
14,6	5,438	0,75	8,6	0,438	17,1001	21,1595	80,8152
14,8	5,44	0,75	8,8	0,44	17,1001	21,0585	81,2028
15	5,442	0,75	9	0,442	17,1001	20,9575	81,5942
15,2	5,445	0,75	9,2	0,445	17,1001	20,8565	81,9893
15,4	5,45	0,75	9,4	0,45	17,1001	20,7555	82,3883
15,6	5,452	0,74	9,6	0,452	16,85086	20,6545	81,5844
15,8	5,46	0,73	9,8	0,46	16,60162	20,5535	80,7727
16	5,47	0,73	10	0,47	16,60162	20,4525	81,1716

8,5	5,09	1,1	3,5	0,09	25,8235	23,7350	108,7992
8,6	5,092	1,08	3,6	0,092	25,32502	23,6845	106,9266
8,7	5,092	1,08	3,7	0,092	25,32502	23,6340	107,1550
8,8	5,092	1,07	3,8	0,092	25,07578	23,5835	106,3276
8,9	5,095	1,08	3,9	0,095	25,32502	23,5330	107,6149
9	5,098	1,08	4	0,098	25,32502	23,4825	107,8464
9,1	5,1	1,08	4,1	0,1	25,32502	23,4320	108,0788
9,2	5,102	1,07	4,2	0,102	25,07578	23,3815	107,2462
9,3	5,105	1,06	4,3	0,105	24,82654	23,3310	106,4101
9,4	5,11	1,06	4,4	0,11	24,82654	23,2805	106,6409
9,5	5,11	1,06	4,5	0,11	24,82654	23,2300	106,8728
9,6	5,11	1,06	4,6	0,11	24,82654	23,1795	107,1056
9,7	5,112	1,06	4,7	0,112	24,82654	23,1290	107,3394
9,8	5,115	1,06	4,8	0,115	24,82654	23,0785	107,5743
9,9	5,115	1,05	4,9	0,115	24,5773	23,0280	106,7279
10	5,118	1,05	5	0,118	24,5773	22,9775	106,9625
10,2	5,12	1,05	5,2	0,12	24,5773	22,8765	107,4347
10,4	5,122	1,05	5,4	0,122	24,5773	22,7755	107,9111
10,6	5,125	1,05	5,6	0,125	24,5773	22,6745	108,3918
10,8	5,128	1,04	5,8	0,128	24,32806	22,5735	107,7727
11	5,13	1,05	6	0,13	24,5773	22,4725	109,3661
11,2	5,135	1,04	6,2	0,135	24,32806	22,3715	108,7458
11,4	5,138	1,04	6,4	0,138	24,32806	22,2705	109,2389
11,6	5,142	1,04	6,6	0,142	24,32806	22,1695	109,7366
11,8	5,145	1,04	6,8	0,145	24,32806	22,0685	110,2388
12	5,15	1,04	7	0,15	24,32806	21,9675	110,7457
12,2	5,15	1,03	7,2	0,15	24,07882	21,8665	110,1174
12,4	5,15	1,03	7,4	0,15	24,07882	21,7655	110,6284
12,6	5,15	1,03	7,6	0,15	24,07882	21,6645	111,1441
12,8	5,152	1,02	7,8	0,152	23,82958	21,5635	110,5089
13	5,155	1,02	8	0,155	23,82958	21,4625	111,0289
13,2	5,16	1,02	8,2	0,16	23,82958	21,3615	111,5539
13,4	5,165	1,01	8,4	0,165	23,58034	21,2605	110,9115
13,6	5,168	1	8,6	0,168	23,3311	21,1595	110,2630
13,8	5,17	1	8,8	0,17	23,3311	21,0585	110,7918
14	5,172	1	9	0,172	23,3311	20,9575	111,3258
14,2	5,175	0,99	9,2	0,175	23,08186	20,8565	110,6699
14,4	5,18	0,99	9,4	0,18	23,08186	20,7555	111,2084
14,6	5,18	0,99	9,6	0,18	23,08186	20,6545	111,7522
14,8	5,18	0,99	9,8	0,18	23,08186	20,5535	112,3014
15	5,18	0,99	10	0,18	23,08186	20,4525	112,8559

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJIÚ/RS

Local: __ Campus Amostra: __ Solo Fibra 200
 Data: __ 11/03/2004 e 12/03/2004 Volume: 50,24
 Profundidade retirada da amostra (m): __ 2
 Carga normal (kgf): _____ 51 Pressão vertical (kPa): _____ 200
 P. vazador + amostra (g): __ 180,24 P. vazador: 85,85 P. amostra (g): 94,39
 Velocidade do ensaio (mm/min): _____ 0,031 γ_d (kN/m³): 14,452
 Compr./Larg./Altura da amostra (cm): __ 5,05 x 5,05 x 1,97 γ_n (kN/m³): 18,788
 $\gamma_{d_{máx}}$ (kN/m³): 14,720
 GC(%): 98
 Condições do ensaio: - Natural () - Inundado (X) - Residual ()

Determinação da umidade:	ANTES ENSAIO		DEPOIS ENSAIO	
Nº da cápsula:	0	0	55	48
Peso da cápsula (g):	0	0	20,33	18,58
Cáp. + solo úmido (g):	0	0	79,23	55,16
Cáp. + solo seco (g):	0	0	62,66	45,04
Teor de umidade médio (%):	30,00		38,70	

Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	Anel (kgf)	Área (cm ²)	Tensão (kPa)
6	6	0	0	0		25,5025	0,0000
6,1	6	0,38	0,1	0	7,87822	25,452	30,9532
6,2	6	0,63	0,2	0	14,10922	25,4015	55,5448
6,3	6	0,81	0,3	0	18,59554	25,351	73,3523
6,4	6	0,93	0,4	0	21,58642	25,3005	85,3201
6,5	5,995	1,1	0,5	0,005	25,8235	25,25	102,2713
6,6	5,985	1,24	0,6	0,015	29,31286	25,1995	116,3232
6,7	5,98	1,31	0,7	0,02	31,05754	25,149	123,4941
6,8	5,972	1,4	0,8	0,028	33,3007	25,0985	132,6800
6,9	5,962	1,46	0,9	0,038	34,79614	25,048	138,9178
7	5,952	1,5	1	0,048	35,7931	24,9975	143,1867
7,1	5,942	1,55	1,1	0,058	37,0393	24,947	148,4720
7,2	5,93	1,6	1,2	0,07	38,2855	24,8965	153,7786
7,3	5,918	1,64	1,3	0,082	39,28246	24,846	158,1038
7,4	5,91	1,65	1,4	0,09	39,5317	24,7955	159,4309
7,5	5,89	1,7	1,5	0,11	40,7779	24,745	164,7925
7,6	5,88	1,74	1,6	0,12	41,77486	24,6945	169,1667
7,7	5,86	1,75	1,7	0,14	42,0241	24,644	170,5247
7,8	5,85	1,77	1,8	0,15	42,52258	24,5935	172,9017
7,9	5,84	1,8	1,9	0,16	43,2703	24,543	176,3040
8	5,825	1,82	2	0,175	43,76878	24,4925	178,7028
8,1	5,818	1,84	2,1	0,182	44,26726	24,442	181,1114
8,2	5,808	1,87	2,2	0,192	45,01498	24,3915	184,5519
8,3	5,802	1,87	2,3	0,198	45,01498	24,341	184,9348
8,4	5,8	1,88	2,4	0,2	45,26422	24,2905	186,3454
8,5	5,792	1,89	2,5	0,208	45,51346	24,24	187,7618
8,6	5,79	1,88	2,6	0,21	45,26422	24,1895	187,1234
8,7	5,788	1,88	2,7	0,212	45,26422	24,139	187,5149
8,8	5,785	1,87	2,8	0,215	45,01498	24,0885	186,8733
8,9	5,782	1,87	2,9	0,218	45,01498	24,038	187,2659
9	5,78	1,84	3	0,22	44,26726	23,9875	184,5430
9,1	5,775	1,85	3,1	0,225	44,5165	23,937	185,9736
9,2	5,773	1,86	3,2	0,227	44,76574	23,8865	187,4102
9,3	5,772	1,84	3,3	0,228	44,26726	23,836	185,7160
9,4	5,771	1,84	3,4	0,229	44,26726	23,7855	186,1103

9,5	5,77	1,82	3,5	0,23	43,76878	23,735	184,4061
9,6	5,77	1,83	3,6	0,23	44,01802	23,6845	185,8516
9,7	5,768	1,82	3,7	0,232	43,76878	23,634	185,1941
9,8	5,765	1,82	3,8	0,235	43,76878	23,5835	185,5907
9,9	5,762	1,83	3,9	0,238	44,01802	23,533	187,0481
10	5,762	1,82	4	0,238	43,76878	23,4825	186,3889
10,1	5,762	1,83	4,1	0,238	44,01802	23,432	187,8543
10,2	5,762	1,82	4,2	0,238	43,76878	23,3815	187,1941
10,3	5,762	1,82	4,3	0,238	43,76878	23,331	187,5992
10,4	5,761	1,81	4,4	0,239	43,51954	23,2805	186,9356
10,5	5,76	1,82	4,5	0,24	43,76878	23,23	188,4149
10,6	5,758	1,82	4,6	0,242	43,76878	23,1795	188,8254
10,7	5,758	1,82	4,7	0,242	43,76878	23,129	189,2377
10,8	5,755	1,84	4,8	0,245	44,26726	23,0785	191,8117
10,9	5,752	1,83	4,9	0,248	44,01802	23,028	191,1500
11	5,75	1,82	5	0,25	43,76878	22,9775	190,4854
11,2	5,75	1,82	5,2	0,25	43,76878	22,8765	191,3264
11,4	5,75	1,82	5,4	0,25	43,76878	22,7755	192,1748
11,6	5,75	1,82	5,6	0,25	43,76878	22,6745	193,0308
11,8	5,75	1,82	5,8	0,25	43,76878	22,5735	193,8945
12	5,75	1,82	6	0,25	43,76878	22,4725	194,7660
12,2	5,75	1,81	6,2	0,25	43,51954	22,3715	194,5312
12,4	5,75	1,8	6,4	0,25	43,2703	22,2705	194,2942
12,6	5,748	1,81	6,6	0,252	43,51954	22,1695	196,3037
12,8	5,745	1,8	6,8	0,255	43,2703	22,0685	196,0727
13	5,741	1,79	7	0,259	43,02106	21,9675	195,8396
13,2	5,741	1,78	7,2	0,259	42,77182	21,8665	195,6043
13,4	5,741	1,77	7,4	0,259	42,52258	21,7655	195,3669
13,6	5,741	1,77	7,6	0,259	42,52258	21,6645	196,2777
13,8	5,741	1,76	7,8	0,259	42,27334	21,5635	196,0412
14	5,741	1,75	8	0,259	42,0241	21,4625	195,8024
14,2	5,741	1,74	8,2	0,259	41,77486	21,3615	195,5615
14,4	5,741	1,74	8,4	0,259	41,77486	21,2605	196,4905
14,6	5,741	1,73	8,6	0,259	41,52562	21,1595	196,2505
14,8	5,74	1,72	8,8	0,26	41,27638	21,0585	196,0082
15	5,738	1,71	9	0,262	41,02714	20,9575	195,7635
15,2	5,735	1,71	9,2	0,265	41,02714	20,8565	196,7115
15,4	5,732	1,7	9,4	0,268	40,7779	20,7555	196,4679
15,6	5,73	1,7	9,6	0,27	40,7779	20,6545	197,4286
15,8	5,728	1,7	9,8	0,272	40,7779	20,5535	198,3988
16	5,725	1,69	10	0,275	40,52866	20,4525	198,1599

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJUÍ/RS

Local: __ Campus Amostra: __ Solo Cal Fibra 30
 Data: __ 00/00/2004 e 00/00/2004 Volume: 50,24
 Profundidade retirada da amostra (m): __ 2
 Carga normal (kgf): _____ 7,65 Pressão vertical (kPa): ____ 30
 P. vazador + amostra (g): __ 179,36 P. vazador: 85,85 P. amostra (g): 93,51
 Velocidade do ensaio (mm/min): _____ 0,031 γ_d (kN/m³): 14,101
 Compr./Larg./Altura da amostra (cm): __ 5,05 x 5,05 x 1,97 γ_n (kN/m³): 18,613
 $\gamma_{d_{m\acute{a}x}}$ (kN/m³): 14,080
 GC(%): 100

Condições do ensaio: - Natural () - Inundado (X) - Residual ()

Determinação da umidade:	ANTES ENSAIO		DEPOIS ENSAIO	
Nº da cápsula:	0	0	43	53
Peso da cápsula (g):	0	0	18,71	19,13
Cáp. + solo úmido (g):	0	0	64,47	69,21
Cáp. + solo seco (g):	0	0	51,99	55,07
Teor de umidade médio (%):	32,00		38,42	

Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	Anel (kgf)	Área (cm ²)	Tensão (kPa)
5	6	0	0	0		25,5025	0,0000
5,1	6	0,32	0,1	0	6,38278	25,452	25,0777
5,2	6,005	0,47	0,2	0,005	10,12138	25,4015	39,8456
5,3	6,02	0,7	0,3	0,02	15,8539	25,351	62,5376
5,4	6,04	0,97	0,4	0,04	22,58338	25,3005	89,2606
5,5	6,065	1,23	0,5	0,065	29,06362	25,25	115,1034
5,6	6,1	1,49	0,6	0,1	35,54386	25,1995	141,0499
5,7	6,12	1,7	0,7	0,12	40,7779	25,149	162,1452
5,8	6,15	1,85	0,8	0,15	44,5165	25,0985	177,3672
5,9	6,17	1,8	0,9	0,17	43,2703	25,048	172,7495
6	6,2	1,28	1	0,2	30,30982	24,9975	121,2514
6,1	6,22	1,21	1,1	0,22	28,56514	24,947	114,5033
6,2	6,24	1,16	1,2	0,24	27,31894	24,8965	109,7300
6,3	6,265	1,1	1,3	0,265	25,8235	24,846	103,9342
6,4	6,282	1,08	1,4	0,282	25,32502	24,7955	102,1355
6,5	6,308	1,06	1,5	0,308	24,82654	24,745	100,3295
6,6	6,32	1,06	1,6	0,32	24,82654	24,6945	100,5347
6,7	6,34	1,02	1,7	0,34	23,82958	24,644	96,6953
6,8	6,362	1	1,8	0,362	23,3311	24,5935	94,8669
6,9	6,382	0,99	1,9	0,382	23,08186	24,543	94,0466
7	6,41	0,98	2	0,41	22,83262	24,4925	93,2229
7,1	6,432	0,95	2,1	0,432	22,0849	24,442	90,3564
7,2	6,46	0,94	2,2	0,46	21,83566	24,3915	89,5216
7,3	6,488	0,93	2,3	0,488	21,58642	24,341	88,6834
7,4	6,51	0,92	2,4	0,51	21,33718	24,2905	87,8417
7,5	6,56	0,9	2,5	0,56	20,8387	24,24	85,9682
7,6	6,61	0,88	2,6	0,61	20,34022	24,1895	84,0870
7,7	6,648	0,86	2,7	0,648	19,84174	24,139	82,1979
7,8	6,69	0,82	2,8	0,69	18,84478	24,0885	78,2314
7,9	6,72	0,81	2,9	0,72	18,59554	24,038	77,3589
8	6,76	0,8	3	0,76	18,3463	23,9875	76,4828
8,1	6,8	0,76	3,1	0,8	17,34934	23,937	72,4792
8,2	6,84	0,75	3,2	0,84	17,1001	23,8865	71,5890
8,3	6,878	0,73	3,3	0,878	16,60162	23,836	69,6494
8,4	6,918	0,71	3,4	0,918	16,10314	23,7855	67,7015

8,5	6,958	0,7	3,5	0,958	15,8539	23,735	66,7954
8,6	6,99	0,68	3,6	0,99	15,35542	23,6845	64,8332
8,7	7,028	0,66	3,7	1,028	14,85694	23,634	62,8626
8,8	7,06	0,65	3,8	1,06	14,6077	23,5835	61,9403
8,9	7,09	0,64	3,9	1,09	14,35846	23,533	61,0142
9	7,1	0,63	4	1,1	14,10922	23,4825	60,0840
9,1	7,138	0,62	4,1	1,138	13,85998	23,432	59,1498
9,2	7,17	0,61	4,2	1,17	13,61074	23,3815	58,2116
9,3	7,202	0,59	4,3	1,202	13,11226	23,331	56,2010
9,4	7,24	0,59	4,4	1,24	13,11226	23,2805	56,3229
9,5	7,27	0,59	4,5	1,27	13,11226	23,23	56,4454
9,6	7,302	0,58	4,6	1,302	12,86302	23,1795	55,4931
9,7	7,33	0,56	4,7	1,33	12,36454	23,129	53,4590
9,8	7,355	0,55	4,8	1,355	12,1153	23,0785	52,4960
9,9	7,37	0,54	4,9	1,37	11,86606	23,028	51,5288
10	7,38	0,54	5	1,38	11,86606	22,9775	51,6421
10,2	7,395	0,54	5,2	1,395	11,86606	22,8765	51,8701
10,4	7,405	0,53	5,4	1,405	11,61682	22,7755	51,0058
10,6	7,41	0,54	5,6	1,41	11,86606	22,6745	52,3322
10,8	7,42	0,53	5,8	1,42	11,61682	22,5735	51,4622
11	7,43	0,53	6	1,43	11,61682	22,4725	51,6935
11,2	7,44	0,53	6,2	1,44	11,61682	22,3715	51,9269
11,4	7,455	0,53	6,4	1,455	11,61682	22,2705	52,1624
11,6	7,46	0,52	6,6	1,46	11,36758	22,1695	51,2758
11,8	7,47	0,52	6,8	1,47	11,36758	22,0685	51,5104
12	7,48	0,52	7	1,48	11,36758	21,9675	51,7473
12,2	7,49	0,51	7,2	1,49	11,11834	21,8665	50,8465
12,4	7,5	0,51	7,4	1,5	11,11834	21,7655	51,0824
12,6	7,51	0,52	7,6	1,51	11,36758	21,6645	52,4710
12,8	7,52	0,51	7,8	1,52	11,11834	21,5635	51,5609
13	7,53	0,51	8	1,53	11,11834	21,4625	51,8036
13,2	7,54	0,51	8,2	1,54	11,11834	21,3615	52,0485
13,4	7,55	0,51	8,4	1,55	11,11834	21,2605	52,2958
13,6	7,56	0,51	8,6	1,56	11,11834	21,1595	52,5454
13,8	7,57	0,5	8,8	1,57	10,8691	21,0585	51,6138
14	7,58	0,51	9	1,58	11,11834	20,9575	53,0518
14,2	7,59	0,51	9,2	1,59	11,11834	20,8565	53,3088
14,4	7,6	0,5	9,4	1,6	10,8691	20,7555	52,3673
14,6	7,605	0,5	9,6	1,605	10,8691	20,6545	52,6234
14,8	7,61	0,5	9,8	1,61	10,8691	20,5535	52,8820
15	7,62	0,5	10	1,62	10,8691	20,4525	53,1431

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJIÚ/RS

Local: __ Campus Amostra: __ Solo Cal Fibra 60
 Data: __ 17/02/2004 e 24/03/2004 Volume: 50,24
 Profundidade retirada da amostra (m): __ 2
 Carga normal (kgf): _____ 15,3 Pressão vertical (kPa): ____ 60
 P. vazador + amostra (g): __ 178,07 P. vazador: 85,85 P. amostra (g): 92,22
 Velocidade do ensaio (mm/min): _____ 0,031 γ_d (kN/m³): 13,906
 Compr./Larg./Altura da amostra (cm): __ 5,05 x 5,05 x 1,97 γ_n (kN/m³): 18,356
 $\gamma_{d_{m\acute{a}x}}$ (kN/m³): 14,080
 GC(%): 99

Condições do ensaio: - Natural () - Inundado (X) - Residual ()

Determinação da umidade:	ANTES ENSAIO		DEPOIS ENSAIO	
Nº da cápsula:	0	0	43	53
Peso da cápsula (g):	0	0	18,69	19,08
Cáp. + solo úmido (g):	0	0	59,55	73,23
Cáp. + solo seco (g):	0	0	48,91	58,47
Teor de umidade médio (%):	32,00		36,34	

Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	Anel (kgf)	Área (cm ²)	Tensão (kPa)
6	6	0	0	0		25,5025	0,0000
6,1	6,008	0,46	0,1	0,008	9,87214	25,4520	38,7873
6,2	6,01	1,02	0,2	0,01	23,82958	25,4015	93,8117
6,3	6,03	1,81	0,3	0,03	43,51954	25,3510	171,6679
6,4	6,11	2,2	0,4	0,11	53,2399	25,3005	210,4302
6,5	6,2	2,43	0,5	0,2	58,97242	25,2500	233,5541
6,6	6,21	1,94	0,6	0,21	46,75966	25,1995	185,5579
6,7	6,22	1,85	0,7	0,22	44,5165	25,1490	177,0110
6,8	6,23	1,75	0,8	0,23	42,0241	25,0985	167,4367
6,9	6,235	1,65	0,9	0,235	39,5317	25,0480	157,8238
7	6,245	1,61	1	0,245	38,53474	24,9975	154,1544
7,1	6,26	1,6	1,1	0,26	38,2855	24,9470	153,4674
7,2	6,275	1,57	1,2	0,275	37,53778	24,8965	150,7753
7,3	6,28	1,55	1,3	0,28	37,0393	24,8460	149,0755
7,4	6,29	1,49	1,4	0,29	35,54386	24,7955	143,3480
7,5	6,3	1,49	1,5	0,3	35,54386	24,7450	143,6406
7,6	6,31	1,47	1,6	0,31	35,04538	24,6945	141,9157
7,7	6,33	1,47	1,7	0,33	35,04538	24,6440	142,2065
7,8	6,35	1,47	1,8	0,35	35,04538	24,5935	142,4985
7,9	6,37	1,47	1,9	0,37	35,04538	24,5430	142,7918
8	6,4	1,45	2	0,4	34,5469	24,4925	141,0509
8,1	6,42	1,45	2,1	0,42	34,5469	24,4420	141,3424
8,2	6,435	1,41	2,2	0,435	33,54994	24,3915	137,5477
8,3	6,46	1,4	2,3	0,46	33,3007	24,3410	136,8091
8,4	6,48	1,39	2,4	0,48	33,05146	24,2905	136,0674
8,5	6,5	1,39	2,5	0,5	33,05146	24,2400	136,3509
8,6	6,51	1,39	2,6	0,51	33,05146	24,1895	136,6356
8,7	6,52	1,39	2,7	0,52	33,05146	24,1390	136,9214
8,8	6,55	1,35	2,8	0,55	32,0545	24,0885	133,0697
8,9	6,562	1,29	2,9	0,562	30,55906	24,0380	127,1281
9	6,575	1,14	3	0,575	26,82046	23,9875	111,8102
9,1	6,58	1,12	3,1	0,58	26,32198	23,9370	109,9636
9,2	6,59	1,12	3,2	0,59	26,32198	23,8865	110,1961
9,3	6,595	1,12	3,3	0,595	26,32198	23,8360	110,4295
9,4	6,62	1,12	3,4	0,62	26,32198	23,7855	110,6640

9,5	6,625	1,12	3,5	0,625	26,32198	23,7350	110,8994
9,6	6,64	1,12	3,6	0,64	26,32198	23,6845	111,1359
9,7	6,653	1,1	3,7	0,653	25,8235	23,6340	109,2642
9,8	6,669	1,09	3,8	0,669	25,57426	23,5835	108,4413
9,9	6,675	1,07	3,9	0,675	25,07578	23,5330	106,5558
10	6,685	1,06	4	0,685	24,82654	23,4825	105,7236
10,1	6,699	1,05	4,1	0,699	24,5773	23,4320	104,8878
10,2	6,71	1,02	4,2	0,71	23,82958	23,3815	101,9164
10,3	6,72	1,02	4,3	0,72	23,82958	23,3310	102,1370
10,4	6,731	1	4,4	0,731	23,3311	23,2805	100,2173
10,5	6,74	0,99	4,5	0,74	23,08186	23,2300	99,3623
10,6	6,751	0,97	4,6	0,751	22,58338	23,1795	97,4282
10,7	6,77	0,96	4,7	0,77	22,33414	23,1290	96,5634
10,8	6,775	0,95	4,8	0,775	22,0849	23,0785	95,6947
10,9	6,79	0,94	4,9	0,79	21,83566	23,0280	94,8222
11	6,8	0,93	5	0,8	21,58642	22,9775	93,9459
11,2	6,81	0,92	5,2	0,81	21,33718	22,8765	93,2712
11,4	6,83	0,91	5,4	0,83	21,08794	22,7755	92,5905
11,6	6,86	0,9	5,6	0,86	20,8387	22,6745	91,9037
11,8	6,89	0,88	5,8	0,89	20,34022	22,5735	90,1066
12	6,9	0,87	6	0,9	20,09098	22,4725	89,4025
12,2	6,92	0,86	6,2	0,92	19,84174	22,3715	88,6920
12,4	6,94	0,86	6,4	0,94	19,84174	22,2705	89,0943
12,6	6,95	0,85	6,6	0,95	19,5925	22,1695	88,3759
12,8	6,97	0,84	6,8	0,97	19,34326	22,0685	87,6510
13	6,985	0,83	7	0,985	19,09402	21,9675	86,9194
13,2	7	0,81	7,2	1	18,59554	21,8665	85,0412
13,4	7,02	0,8	7,4	1,02	18,3463	21,7655	84,2907
13,6	7,03	0,8	7,6	1,03	18,3463	21,6645	84,6837
13,8	7,05	0,79	7,8	1,05	18,09706	21,5635	83,9245
14	7,05	0,79	8	1,05	18,09706	21,4625	84,3194
14,2	7,06	0,78	8,2	1,06	17,84782	21,3615	83,5513
14,4	7,07	0,79	8,4	1,07	18,09706	21,2605	85,1206
14,6	7,08	0,78	8,6	1,08	17,84782	21,1595	84,3490
14,8	7,09	0,78	8,8	1,09	17,84782	21,0585	84,7535
15	7,105	0,78	9	1,105	17,84782	20,9575	85,1620
15,2	7,12	0,78	9,2	1,12	17,84782	20,8565	85,5744
15,4	7,13	0,78	9,4	1,13	17,84782	20,7555	85,9908
15,6	7,14	0,78	9,6	1,14	17,84782	20,6545	86,4113
15,8	7,15	0,78	9,8	1,15	17,84782	20,5535	86,8359
16	7,16	0,78	10	1,16	17,84782	20,4525	87,2647

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJUÍ/RS

Local: __ Campus Amostra: __ Solo Cal Fibra 100
 Data: __ 18/02/2004 e 23/03/2004 Volume: 50,24
 Profundidade retirada da amostra (m): __ 2
 Carga normal (kgf): _____ 25,5 Pressão vertical (kPa): ____ 100
 P. vazador + amostra (g): __ 178,81 P. vazador: 85,85 P. amostra (g): 92,96
 Velocidade do ensaio (mm/min): _____ 0,031 γ_d (kN/m³): 14,018
 Compr./Larg./Altura da amostra (cm): __ 5,05 x 5,05 x 1,97 γ_n (kN/m³): 18,503
 $\gamma_{d_{\max}}$ (kN/m³): 14,080
 GC(%): 100

Condições do ensaio: - Natural () - Inundado (X) - Residual ()

Determinação da umidade:	ANTES ENSAIO		DEPOIS ENSAIO	
Nº da cápsula:	0	0	43	53
Peso da cápsula (g):	0	0	18,72	18,99
Cáp. + solo úmido (g):	0	0	65,17	68,75
Cáp. + solo seco (g):	0	0	50,86	55,25
Teor de umidade médio (%):	32,00		40,88	

Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	Anel (kgf)	Área (cm ²)	Tensão (kPa)
6	6	0	0	0		25,5025	0,0000
6,1	6,01	0,27	0,1	0,01	5,13658	25,4520	20,1814
6,2	6	0,79	0,2	0	18,09706	25,4015	71,2441
6,3	6	1,38	0,3	0	32,80222	25,3510	129,3922
6,4	6,01	1,65	0,4	0,01	39,5317	25,3005	156,2487
6,5	6,02	2,1	0,5	0,02	50,7475	25,2500	200,9802
6,6	6,04	2,31	0,6	0,04	55,98154	25,1995	222,1534
6,7	6,06	2,13	0,7	0,06	51,49522	25,1490	204,7605
6,8	6,07	2,16	0,8	0,07	52,24294	25,0985	208,1516
6,9	6,09	2,3	0,9	0,09	55,7323	25,0480	222,5020
7	6,11	2,39	1	0,11	57,97546	24,9975	231,9250
7,1	6,14	2,47	1,1	0,14	59,96938	24,9470	240,3871
7,2	6,16	2,5	1,2	0,16	60,7171	24,8965	243,8781
7,3	6,18	2,35	1,3	0,18	56,9785	24,8460	229,3267
7,4	6,2	2,31	1,4	0,2	55,98154	24,7955	225,7730
7,5	6,22	2,11	1,5	0,22	50,99674	24,7450	206,0891
7,6	6,235	1,99	1,6	0,235	48,00586	24,6945	194,3990
7,7	6,25	1,96	1,7	0,25	47,25814	24,6440	191,7633
7,8	6,26	1,92	1,8	0,26	46,26118	24,5935	188,1033
7,9	6,275	1,86	1,9	0,275	44,76574	24,5430	182,3972
8	6,29	1,86	2	0,29	44,76574	24,4925	182,7733
8,1	6,31	1,82	2,1	0,31	43,76878	24,4420	179,0720
8,2	6,32	1,82	2,2	0,32	43,76878	24,3915	179,4428
8,3	6,33	1,82	2,3	0,33	43,76878	24,3410	179,8150
8,4	6,355	1,8	2,4	0,355	43,2703	24,2905	178,1367
8,5	6,37	1,78	2,5	0,37	42,77182	24,2400	176,4514
8,6	6,39	1,76	2,6	0,39	42,27334	24,1895	174,7590
8,7	6,4	1,74	2,7	0,4	41,77486	24,1390	173,0596
8,8	6,42	1,72	2,8	0,42	41,27638	24,0885	171,3531
8,9	6,43	1,7	2,9	0,43	40,7779	24,0380	169,6393
9	6,45	1,69	3	0,45	40,52866	23,9875	168,9574
9,1	6,47	1,66	3,1	0,47	39,78094	23,9370	166,1902
9,2	6,485	1,66	3,2	0,485	39,78094	23,8865	166,5415
9,3	6,5	1,66	3,3	0,5	39,78094	23,8360	166,8944
9,4	6,52	1,64	3,4	0,52	39,28246	23,7855	165,1530

9,5	6,53	1,62	3,5	0,53	38,78398	23,7350	163,4042
9,6	6,54	1,59	3,6	0,54	38,03626	23,6845	160,5956
9,7	6,56	1,55	3,7	0,56	37,0393	23,6340	156,7204
9,8	6,57	1,54	3,8	0,57	36,79006	23,5835	155,9992
9,9	6,58	1,53	3,9	0,58	36,54082	23,5330	155,2748
10	6,59	1,52	4	0,59	36,29158	23,4825	154,5473
10,1	6,6	1,5	4,1	0,6	35,7931	23,4320	152,7531
10,2	6,61	1,49	4,2	0,61	35,54386	23,3815	152,0170
10,3	6,62	1,48	4,3	0,62	35,29462	23,3310	151,2778
10,4	6,63	1,46	4,4	0,63	34,79614	23,2805	149,4647
10,5	6,65	1,45	4,5	0,65	34,5469	23,2300	148,7167
10,6	6,66	1,44	4,6	0,66	34,29766	23,1795	147,9655
10,7	6,69	1,43	4,7	0,69	34,04842	23,1290	147,2109
10,8	6,7	1,42	4,8	0,7	33,79918	23,0785	146,4531
10,9	6,71	1,41	4,9	0,71	33,54994	23,0280	145,6919
11	6,72	1,4	5	0,72	33,3007	22,9775	144,9274
11,2	6,74	1,39	5,2	0,74	33,05146	22,8765	144,4778
11,4	6,76	1,35	5,4	0,76	32,0545	22,7755	140,7411
11,6	6,78	1,3	5,6	0,78	30,8083	22,6745	135,8720
11,8	6,8	1,29	5,8	0,8	30,55906	22,5735	135,3758
12	6,82	1,27	6	0,82	30,06058	22,4725	133,7661
12,2	6,84	1,25	6,2	0,84	29,5621	22,3715	132,1418
12,4	6,85	1,23	6,4	0,85	29,06362	22,2705	130,5028
12,6	6,88	1,22	6,6	0,88	28,81438	22,1695	129,9731
12,8	6,9	1,2	6,8	0,9	28,3159	22,0685	128,3091
13	6,92	1,19	7	0,92	28,06666	21,9675	127,7645
13,2	6,94	1,18	7,2	0,94	27,81742	21,8665	127,2148
13,4	6,96	1,18	7,4	0,96	27,81742	21,7655	127,8051
13,6	6,97	1,17	7,6	0,97	27,56818	21,6645	127,2505
13,8	6,98	1,17	7,8	0,98	27,56818	21,5635	127,8465
14	7	1,16	8	1	27,31894	21,4625	127,2868
14,2	7,01	1,16	8,2	1,01	27,31894	21,3615	127,8887
14,4	7,02	1,14	8,4	1,02	26,82046	21,2605	126,1516
14,6	7,05	1,14	8,6	1,05	26,82046	21,1595	126,7538
14,8	7,07	1,14	8,8	1,07	26,82046	21,0585	127,3617
15	7,08	1,13	9	1,08	26,57122	20,9575	126,7862
15,2	7,1	1,13	9,2	1,1	26,57122	20,8565	127,4002
15,4	7,12	1,13	9,4	1,12	26,57122	20,7555	128,0201
15,6	7,14	1,13	9,6	1,14	26,57122	20,6545	128,6462
15,8	7,15	1,12	9,8	1,15	26,32198	20,5535	128,0657
16	7,16	1,13	10	1,16	26,57122	20,4525	129,9167

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJIÚ/RS

Local: __ Campus Amostra: __ Solo Cal Fibra 200
 Data: __ 00/00/2004 e 00/00/2004 Volume: 50,24
 Profundidade retirada da amostra (m): __ 2
 Carga normal (kgf): _____ 51 Pressão vertical (kPa): _____ 200
 P. vazador + amostra (g): __ 179,12 P. vazador: 85,85 P. amostra (g): 93,27
 Velocidade do ensaio (mm/min): _____ 0,031 γ_d (kN/m³): 14,064
 Compr./Larg./Altura da amostra (cm): __ 5,05 x 5,05 x 1,97 γ_n (kN/m³): 18,565
 $\gamma_{d_{m\acute{a}x}}$ (kN/m³): 14,080
 GC(%): 100

Condições do ensaio: - Natural () - Inundado (X) - Residual ()

Determinação da umidade:	ANTES ENSAIO		DEPOIS ENSAIO	
Nº da cápsula:	0	0	53	41
Peso da cápsula (g):	0	0	19,11	18,75
Cáp. + solo úmido (g):	0	0	67,38	66,37
Cáp. + solo seco (g):	0	0	54,18	53,12
Teor de umidade médio (%):	32,00		38,10	

Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	Anel (kgf)	Área (cm ²)	Tensão (kPa)
5	5	0	0	0		25,5025	0,0000
5,1	5	0,33	0,1	0	6,63202	25,452	26,0570
5,2	5	0,64	0,2	0	14,35846	25,4015	56,5260
5,3	5	0,84	0,3	0	19,34326	25,351	76,3018
5,4	5	1,22	0,4	0	28,81438	25,3005	113,8886
5,5	5	1,59	0,5	0	38,03626	25,25	150,6387
5,6	5	2,01	0,6	0	48,50434	25,1995	192,4814
5,7	5	2,63	0,7	0	63,95722	25,149	254,3132
5,8	5,008	3,04	0,8	0,008	74,17606	25,0985	295,5398
5,9	5,012	3,23	0,9	0,012	78,91162	25,048	315,0416
6	5,02	3,4	1	0,02	83,1487	24,9975	332,6281
6,1	5,03	3,49	1,1	0,03	85,39186	24,947	342,2931
6,2	5,042	3,59	1,2	0,042	87,88426	24,8965	352,9985
6,3	5,052	3,55	1,3	0,052	86,8873	24,846	349,7034
6,4	5,062	3,39	1,4	0,062	82,89946	24,7955	334,3327
6,5	5,072	3,36	1,5	0,072	82,15174	24,745	331,9933
6,6	5,082	3,34	1,6	0,082	81,65326	24,6945	330,6536
6,7	5,092	3,34	1,7	0,092	81,65326	24,644	331,3312
6,8	5,1	3,34	1,8	0,1	81,65326	24,5935	332,0115
6,9	5,011	2,94	1,9	0,011	71,68366	24,543	292,0737
7	5,12	2,81	2	0,12	68,44354	24,4925	279,4469
7,1	5,125	2,74	2,1	0,125	66,69886	24,442	272,8863
7,2	5,13	2,69	2,2	0,13	65,45266	24,3915	268,3421
7,3	5,14	2,65	2,3	0,14	64,4557	24,341	264,8030
7,4	5,15	2,63	2,4	0,15	63,95722	24,2905	263,3014
7,5	5,16	2,58	2,5	0,16	62,71102	24,24	258,7088
7,6	5,165	2,55	2,6	0,165	61,9633	24,1895	256,1578
7,7	5,17	2,53	2,7	0,17	61,46482	24,139	254,6287
7,8	5,18	2,48	2,8	0,18	60,21862	24,0885	249,9891
7,9	5,188	2,51	2,9	0,188	60,96634	24,038	253,6248
8	5,192	2,49	3	0,192	60,46786	23,9875	252,0807
8,1	5,2	2,47	3,1	0,2	59,96938	23,937	250,5301
8,2	5,208	2,45	3,2	0,208	59,4709	23,8865	248,9729
8,3	5,21	2,43	3,3	0,21	58,97242	23,836	247,4090
8,4	5,22	2,4	3,4	0,22	58,2247	23,7855	244,7907

8,5	5,225	2,39	3,5	0,225	57,97546	23,735	244,2615
8,6	5,231	2,35	3,6	0,231	56,9785	23,6845	240,5729
8,7	5,24	2,35	3,7	0,24	56,9785	23,634	241,0870
8,8	5,245	2,33	3,8	0,245	56,48002	23,5835	239,4896
8,9	5,25	2,3	3,9	0,25	55,7323	23,533	236,8262
9	5,258	2,28	4	0,258	55,23382	23,4825	235,2127
9,1	5,262	2,25	4,1	0,262	54,4861	23,432	232,5286
9,2	5,27	2,23	4,2	0,27	53,98762	23,3815	230,8989
9,3	5,278	2,22	4,3	0,278	53,73838	23,331	230,3304
9,4	5,2	2,2	4,4	0,2	53,2399	23,2805	228,6888
9,5	5,28	2,17	4,5	0,28	52,49218	23,23	225,9672
9,6	5,29	2,12	4,6	0,29	51,24598	23,1795	221,0832
9,7	5,25	2,11	4,7	0,25	50,99674	23,129	220,4883
9,8	5,3	2,09	4,8	0,3	50,49826	23,0785	218,8108
9,9	5,302	2,08	4,9	0,302	50,24902	23,028	218,2084
10	5,31	2,05	5	0,31	49,5013	22,9775	215,4338
10,2	5,318	2,04	5,2	0,318	49,25206	22,8765	215,2954
10,4	5,33	1,99	5,4	0,33	48,00586	22,7755	210,7785
10,6	5,34	1,96	5,6	0,34	47,25814	22,6745	208,4198
10,8	5,34	1,94	5,8	0,34	46,75966	22,5735	207,1440
11	5,35	1,91	6	0,35	46,01194	22,4725	204,7478
11,2	5,365	1,9	6,2	0,365	45,7627	22,3715	204,5580
11,4	5,38	1,87	6,4	0,38	45,01498	22,2705	202,1283
11,6	5,39	1,85	6,6	0,39	44,5165	22,1695	200,8006
11,8	5,4	1,84	6,8	0,4	44,26726	22,0685	200,5903
12	5,41	1,84	7	0,41	44,26726	21,9675	201,5125
12,2	5,41	1,82	7,2	0,41	43,76878	21,8665	200,1636
12,4	5,418	1,81	7,4	0,418	43,51954	21,7655	199,9473
12,6	5,42	1,78	7,6	0,42	42,77182	21,6645	197,4281
12,8	5,425	1,76	7,8	0,425	42,27334	21,5635	196,0412
13	5,43	1,76	8	0,43	42,27334	21,4625	196,9637
13,2	5,435	1,76	8,2	0,435	42,27334	21,3615	197,8950
13,4	5,44	1,74	8,4	0,44	41,77486	21,2605	196,4905
13,6	5,448	1,73	8,6	0,448	41,52562	21,1595	196,2505
13,8	5,455	1,71	8,8	0,455	41,02714	21,0585	194,8246
14	5,46	1,71	9	0,46	41,02714	20,9575	195,7635
14,2	5,465	1,7	9,2	0,465	40,7779	20,8565	195,5165
14,4	5,47	1,7	9,4	0,47	40,7779	20,7555	196,4679
14,6	5,475	1,7	9,6	0,475	40,7779	20,6545	197,4286
14,8	5,48	1,69	9,8	0,48	40,52866	20,5535	197,1862
15	5,485	1,69	10	0,485	40,52866	20,4525	198,1599