

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

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA

Curso de Engenharia Civil

Mariane Antonello Petroni

**RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NAS AREIAS: EFEITO
DA NATUREZA DO GRÃO E DA COMPACIDADE**

Ijuí/RS

2010

Mariane Antonello Petroni

**RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DAS AREIAS: EFEITO
DA NATUREZA DO GRÃO E DA COMPACIDADE**

Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Ijuí/RS

2010

FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelos membros da banca examinadora.

Prof. Luciano Pivoto Specht, Doutor – Orientador.
UNIJUÍ/DeTec

Banca Examinadora

Prof. Valdi Henrique Spohr, Mestre.
UNIJUÍ/DeTec

Agradeço ao professor Luciano Pivoto Specht, Dr. Orientador pela competência, responsabilidade e confiança.

Aos demais professores do curso por terem dividido seus conhecimentos conosco.

Aos laboratoristas Luis e Tiago pela disponibilidade e auxílio nos ensaios.

A secretária Cassiana pela dedicação e amizade.

A UNIJUÍ pela disponibilidade da formação acadêmica.

Aos colegas pela amizade, companheirismo e ajuda.

Aos meus pais Sidnei e Nara pelo amor, carinho, segurança, apoio, confiança depositados em mim. Esta conquista também é de vocês. Eu os amo muito.

Aos colegas, em especial Fernando Cronst e Carlos Felipe S. C. e Silva, que colaboraram na realização desta pesquisa.

Ao meu namorado Fernando Cronst pelo apoio, paciência e amor. Te amo!

A todas as pessoas que de uma forma ou outra colaboraram na realização desta pesquisa.

A Deus, pela oportunidade de viver e concluir esse curso de graduação.

RESUMO

Para a construção civil o solo é considerado o material de menor custo e mais abundante, além de ser a base para todas as obras de engenharia civil. Assim, espera-se que este atenda todas as solicitações impostas com segurança, economia e respeitando o meio-ambiente. Neste estudo foram modificadas as granulometrias de dois tipos de areia: areia artificial e areia natural. Cada uma delas foi composta de 33% de material fino, 33% de material médio e 33% de material grosso, estas nomenclaturas foram considerados conforme os solos retidos nas peneiras de nº10, 40 e 200 respectivamente, sendo primeiramente passado na peneira de nº4 para separar a parcela mais grossa do solo. Através do ensaio de cisalhamento direto podemos determinar a resistência ao corte de um determinado solo, obtendo-se assim o ângulo de atrito interno entre os grãos. Este parâmetro determina a resistência mecânica de um determinado material, quanto maior o seu ângulo maior a sua resistência. Outros parâmetros como a densidade relativa (fofa, medianamente compacta e compacta), o tamanho e formato dos grãos também influenciam no comportamento do solo. Com o aumento da densidade relativa os solos adquirem uma maior resistência, quanto mais anguloso for o grão maior a sua área de contato ocasionando assim uma elevada resistência ao cisalhamento. O material que atingiu os melhores resultados para a resistência mecânica foi a areia artificial, devido a sua natureza. Este resultado foi adequado, pois este material além de ser sustentável é o mais encontrado na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: solos granulares, natureza do grão, compacidade e resistência ao cisalhamento.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: AREIA NATURAL	21
FIGURA 2: AREIA ARTIFICIAL.....	22
FIGURA 3 (A): RESULTANTE DAS TENSÕES NORMAL E CISALHANTE.....	25
FIGURA 3 (B): TENSÃO CISALHANTE X TENSÃO NORMAL	25
FIGURA 4: TRANSMISSÃO DE FORÇAS ENTRE PARTÍCULAS DE AREIA E ARGILA	26
FIGURA 5 (A): CRITÉRIO DE MOHR	27
FIGURA 5 (B): CRITÉRIO DE COULOMB	28
FIGURA 6 (A): ESQUEMA DO EQUIPAMENTO.....	29
FIGURA 6 (B): TENSÃO CISALHANTE X DESLOCAMENTO HORIZONTAL	29
FIGURA 6 (C): DEFORMAÇÃO VERTICAL X DESLOCAMENTO HORIZONTAL.....	30
FIGURA 7: COMPORTAMENTO TÍPICO DAS AREIAS	29
FIGURA 8: GRÃOS DE AREIA OBSERVADOS ATRAVÉS DE UM MICROSCÓPIO CONVENCIONAL.....	38
FIGURA 9: GRÃOS DE AREIA OBSERVADOS ATRAVÉS DE UM MICROSCÓPIO LUPA.....	38
FIGURA 10: EQUIPAMENTO DE ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO DO LEC.....	40
FIGURA 11: ESQUEMA DO ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO	41
FIGURA 12: ESQUEMA DO ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO	41
FIGURA 13: SOLO APÓS O ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO.....	41
FIGURA 14: TODOS OS ACESSÓRIOS PARA A MONTAGEM DO MOLDE NO EQUIPAMENTO	43
FIGURA 15: CAIXA DE CISALHAMENTO MONTADA E INUNDADA	45
FIGURA 16: EXTENSÔMETRO VERTICAL.....	45
FIGURA 17: PESOS UTILIZADOS PARA O CARREGAMENTO	46
FIGURA 18: EXEMPLO DE CARREGAMENTO APLICADO.....	46
FIGURA 19: TENSÃO CISALHANTE X DESLOCAMENTO HORIZONTAL AREIA FOFA NATURAL E ARTIFICIAL	48
FIGURA 20: TENSÃO CISALHANTE X DESLOCAMENTO HORIZONTAL AREIA MEDIANAMENTE COMPACTA NATURAL E ARTIFICIAL	50
FIGURA 21: TENSÃO CISALHANTE X DESLOCAMENTO HORIZONTAL AREIA COMPACTA NATURAL E ARTIFICIAL	51
FIGURA 22: TENSÃO CISALHANTE X DESLOCAMENTO HORIZONTAL 30 kPA	52

FIGURA 23: TENSÃO CISALHANTE X DESLOCAMENTO HORIZONTAL 60 kPa	53
FIGURA 24: TENSÃO CISALHANTE X DESLOCAMENTO HORIZONTAL 100 kPa	54
FIGURA 25: TENSÃO CISALHANTE X DESLOCAMENTO HORIZONTAL 200 kPa	55
FIGURA 26: ENVOLTÓRIO DE RESISTÊNCIA DA AREIA NATURAL E AREIA ARTIFICIAL	57
FIGURA 27: ENVOLTÓRIO DE RESISTÊNCIA DA AREIA NATURAL E AREIA ARTIFICIAL	58
FIGURA 28: ENVOLTÓRIO DE RESISTÊNCIA DA AREIA NATURAL E AREIA ARTIFICIAL	59
FIGURA 29: ANÁLISE ÂNGULO DE ATRITO INTERNO X DENSIDADE RELATIVA	60

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: LIMITES DAS FRAÇÕES DE SOLO PELO TAMANHO DOS GRÃOS	17
TABELA 2: DESCRIÇÃO DOS TIPOS E FORMATOS DOS GRÃOS DE AREIA COM SUAS DENSIDADES RELATIVAS APLICADAS	33
TABELA 3: RESUMO DOS ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO COM SEUS RESPECTIVOS PARÂMETROS.....	39
TABELA 4: ENVOLTÓRIO DE RESISTÊNCIA.....	56
TABELA 5: ENVOLTÓRIO DE RESISTÊNCIA.....	57
TABELA 6: ENVOLTÓRIO DE RESISTÊNCIA.....	58

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

mm = milímetros

cm = centímetros

m = metros

in = polegadas

NBR = Norma Brasileira

% = porcentagem

IBAMA = Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

τ = tensão cisalhante

$\tau_{\text{máx}}$ = tensão de ruptura máxima

τ_{res} = tensão residual

c' = intercepto coesivo

σ = tensão normal

tg = tangente

ϕ' = ângulo efetivo de atrito

$^{\circ}$ = graus

kPa = quilo Pascal

g = grama

u = poro-pressão

f = coeficiente de atrito

cp = corpo-de-prova

P = carga

D_r = densidade relativa

γ_n = o peso específico natural

γ_d = peso específico aparente seco

e = índice de vazios

\cong = aproximadamente

T = força tangencial

N = carga vertical

Dh = deslocamento horizontal;

Dv = deformação vertical;

LEC = Laboratório de Engenharia Civil – UNIJUÍ

UNIJUÍ = Universidade regional do noroeste do estado do Rio Grande do Sul

RS = Rio Grande do Sul

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA DA PESQUISA	13
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	13
1.3 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO	13
1.4 OBJETIVOS	13
1.4.1 <i>Objetivo geral</i>	13
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	14
1.5 JUSTIFICATIVAS.....	14
1.6 SISTEMATIZAÇÃO DA PESQUISA.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 SOLOS	16
2.1.1 <i>Solos granulares</i>	16
2.1.1.1 <i>Areias</i>	17
2.1.1.1.1 <i>Areias naturais</i>	20
2.1.1.1.2 <i>Areias artificiais</i>	21
2.2 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO	22
2.2.1 <i>Definição</i>	22
2.2.2 <i>A natureza da resistência ao cisalhamento</i>	23
2.2.3 <i>Medidas da resistência ao cisalhamento</i>	23
2.2.4 <i>Atrito Interno</i>	24
2.2.5 <i>Intercepto coesivo</i>	26
2.2.6 <i>Critérios de ruptura</i>	27
2.2.7 <i>Tipos de ensaios de cisalhamento</i>	28
2.2.7.1 <i>Ensaio de cisalhamento direto</i>	28
3. METODOLOGIA.....	32
3.1 CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO	32
3.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA	32
3.3 MATERIAIS UTILIZADOS	33
3.3.1 <i>Areia natural</i>	34
3.3.2 <i>Areia artificial</i>	34
3.4 ENSAIOS DE LABORATÓRIO	34

3.4.1 Ensaio de caracterização física.....	34
3.4.1.1 Granulometria	34
3.4.1.1.1 Peneiramento	35
3.4.1.2 Massa específica real dos grãos.....	35
3.4.1.3 Análise Morfológica	37
3.4.2 Ensaio de cisalhamento direto	38
3.4.2.1 Equipamentos	39
3.4.2.2 Preparação do corpo-de-prova	40
3.4.2.3 Procedimento do Ensaio.....	44
4. RESULTADOS	47
4.1 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO	47
4.1.1 Resultados para areia fofa	48
4.1.2 Resultados para areia medianamente compacta	49
4.1.3 Resultados para areia compacta.....	50
4.2 ANÁLISE GLOBAL	51
4.2.1 Análise da tensão normal na areia natural e na areia artificial	51
4.2.1.1 Areia natural e artificial com tensão normal de 30 kPa	51
4.2.1.2 Areia natural e artificial com tensão normal de 60 kPa	52
4.2.1.3 Areia natural e artificial com tensão normal de 100 kPa	53
4.2.1.4 Areia natural e artificial com tensão normal de 200 kPa	54
4.2.2 Análise do ângulo de atrito interno e do intercepto coesivo	55
4.2.2.1 Análise da areia natural e artificial fofa	56
4.2.2.2 Análise da areia natural e artificial medianamente compacta	57
4.2.2.3 Análise da areia natural e artificial compacta.....	58
4.2.3 Análise do ângulo de atrito interno e densidade relativa nos dois tipos de solo.....	59
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
5.1 CONCLUSÃO.....	61
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXO I.....	66
ANEXO II.....	69

1. INTRODUÇÃO

1.1 Tema da Pesquisa

O tema da pesquisa é: Comportamento mecânico de areias.

1.2 Delimitação do Tema

Com a finalidade de identificar os efeitos que influenciam o comportamento mecânico das areias, realizou-se os ensaios de resistência ao cisalhamento em duas amostras diferentes de solos arenosos, vindas da cidade de Santa Maria (natural) e Coronel Barros (artificial). Sendo preparadas e ensaiadas em laboratório.

1.3 Formulação da questão de estudo

A questão que balizou este estudo é: Qual a importância dos parâmetros (densidade relativa e natureza do grão) na resistência ao cisalhamento nas areias?

1.4 Objetivos

Os objetivos do estudo estão divididos em objetivo geral e objetivos específicos, apresentados a seguir:

1.4.1 Objetivo geral

Esta pesquisa teve como objetivo determinar e quantificar quais das variáveis (densidade relativa e natureza) influenciam na resistência ao cisalhamento das areias.

1.4.2 Objetivos específicos

Foram definidos como objetivos específicos:

- Quantificar através do ensaio de cisalhamento direto a influência da densidade relativa (fofa, medianamente compacta e compacta) nos valores do intercepto coesivo e ângulo de atrito interno;
- Quantificar através do ensaio de cisalhamento direto a influência da natureza dos grãos (areia artificial e natural).

1.5 Justificativas

Sabendo que o solo é base de todas as obras de engenharia civil (Pinto, 2002) e, por ser um material de baixo custo, ele é largamente utilizado como material de construção, então se almeja que este acate todas as solicitações impostas com segurança, economia e respeitando o meio-ambiente.

O ensaio de cisalhamento direto foi desenvolvido basicamente para determinar a resistência ao corte de um corpo de prova de solo e também para definir a resistência entre contatos de diferentes materiais, como no caso da pavimentação e aterros sanitários. Através deste ensaio se consegue verificar algumas das propriedades citadas anteriormente.

Alguns parâmetros como a densidade relativa, o tamanho e formato dos grãos influenciam no comportamento do solo, intervindo assim em sua resistência. Desta forma, produzir uma areia artificial agregando nestes parâmetros os melhores resultados obtidos através do ensaio de cisalhamento torna o solo estabelecido mais resistente.

Em função de todos estes fatores, principalmente da segurança, economia e sustentabilidade, se considera de grande importância analisar o comportamento mecânico das areias, levando em conta materiais regionais.

1.6 Sistematização da pesquisa

O relatório desta pesquisa apresenta a seguinte estrutura:

Neste primeiro capítulo é apresentado o tema da pesquisa, junto com sua delimitação, seguida da questão de estudo, dos objetivos gerais e específicos, justificativas e sistematização do estudo;

O segundo capítulo aborda assuntos relacionados ao tema da pesquisa como: Solos, areias, resistência ao cisalhamento, atrito interno, intercepto coesivo e ensaio de cisalhamento direto. Também são apresentadas figuras, tabelas e equações que explicam o conteúdo proposto do estudo.

No terceiro capítulo é descrita a metodologia utilizada na pesquisa, envolvendo o método de estudo, o procedimento da coleta de dados, os materiais e equipamentos utilizados nos ensaios.

O quarto capítulo é constituído da tabulação dos dados obtidos em cada ensaio, seguido da análise, interpretação dos dados.

O quinto e último capítulo diz respeito às considerações finais, onde são apresentadas as conclusões do estudo e algumas sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa, seguida dos anexos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Solos

De acordo com Das (2007), a formação dos solos é devido à erosão das rochas, indo mais além Pinto (2002) diz que são das rochas que constituem inicialmente a crosta terrestre. O mesmo diz também que se assentam sobre o terreno todas as obras de engenharia civil, desta forma temos que considerar o comportamento do solo principalmente quando se fala em segurança.

Segundo Das (2007), os solos podem ser denominados como pedregulho, areia, silte ou argila.

2.1.1 Solos granulares

Segundo Hachich *et al.* (1998), o solos granulares podem ser denominados também como areias ou pedregulhos, a nomenclatura correta será definida conforme a granulometria predominante no solo, pois de acordo com Pinto (2002) o tamanho da partícula é a primeira característica que diferencia o solo. Alguns grãos são perceptíveis a olho nu, porém outros são tão finos que com a presença da água viram uma pasta de barro.

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas – possui denominações específicas empregadas para diversas faixas de tamanho como se pode observar na tabela 1.

Porém, pode-se adotar outra terminologia, de acordo com Das (2007), o pedregulho é a fração passante na peneira de 75 mm (3 in) e retida na peneira de nº 10 (2 mm), e areia é a fração passante na peneira de nº 10 (2 mm) e retida na peneira de nº 200 (0,075 mm).

Segundo Iervolino (2009), os insumos mais utilizados na construção civil são os agregados. Eles são matérias granulares, sem volume definidos, de dimensões e propriedades

adequadas para uso em obras de engenharia civil. A sua classificação é de acordo com a origem, a densidade e o tamanho dos fragmentos.

Com relação à origem, podem ser chamados de naturais e artificiais.

Tabela 1: Limites das frações de solo pelo tamanho dos grãos

Fração	Limites definidos pela Norma da ABNT
Matacão	de 25 cm a 1 m
Pedra	de 7,6 cm a 25 cm
Pedregulho	de 4,8 mm a 7,6 cm
Areia Grossa	de 2,0 mm a 4,8 mm
Areia Média	de 0,42 mm a 2,00 mm
Areia Fina	de 0,05 mm a 0,42 mm
Silte	de 0,005 mm a 0,05 mm
Argila	Inferior a 0,005 mm

Fonte: Pinto (2002)

2.1.1.1 Areias

A NBR-6502 (1995) descreve que, a areia é um material natural com dimensões que variam entre 0,075 e 2,0 mm, classificada como grossa se maior que 1,2 mm, média se ficar entre este valor e 0,42 mm, fina se for menor que este último valor.

De acordo com Iervolino (2009), a areia é proveniente da desagregação de rochas, desta forma é considerada como uma substância natural. A maioria das rochas pode resultar em areia através da desagregação mecânica, no entanto as que possuem altos teores de quartzo são as mais favoráveis a este acontecimento. Das (2007) complementa dizendo que as areias são compostas na sua maior parte de quartzo e feldspato.

Segundo Bueno (1980), areias são “grãos não consolidados de minerais, geralmente de quartzo, visíveis a olho nu, e cujos diâmetros não excedem dois milímetros, mais ou menos”.

No entanto, Bauer (2008) descreve que a areia como material de construção civil precisa ter grãos formados de material consistente e não necessariamente quartzosos.

Resistência ao cisalhamento nas areias: efeito da natureza do grão e da compactação.

Bernucci et al (2006), dizem que o agregado miúdo é um material com dimensões maiores que 0,075 mm e menores que 2,0 mm, é retido na peneira de nº 200 e passante na peneira de nº 10, e segundo a NBR 7211 – EB 4 (ABNT, 1983), agregado miúdo é o material cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidas na peneira ABNT 0,075 mm, ou seja, segundo a NBR-7215 (ABNT, 1996) a areia é classificada como agregado miúdo.

A nomenclatura agregado é mais utilizada na tecnologia do concreto, em outros ramos da construção civil ele é conhecido pelo nome específico de cada utilização, como: pedra britada, rachão, fíler, etc. O agregado é um material particulado, de atividade química praticamente nula, incoesivo, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos.

A areia é um material granular, sem forma e volume definido, geralmente inerte, com dimensões, características e propriedades adequadas ao uso da engenharia civil.

Sabe-se que uma areia tem qualidade superior à outra quando são feitos corpos-de-prova de concreto e realizados ensaios de resistência a compressão, a que der valor superior é a melhor. Porém não se pode comparar duas areias sem que elas tenham a mesma distribuição granulométrica, ou seja, devem possuir curvas granulométricas iguais. Para realizar este ensaio prepara-se duas séries de corpos-de-prova idênticos, um corpo-de-prova com cada areia: mesmo traço, mesma trabalhabilidade e mesmo cimento. Se através do teste estatístico de significância houver diferença significativa entre as medidas das duas séries de corpos-de-prova, se diz que a areia com que foram confeccionados os corpos-de-prova que apresentam média mais alta tem qualidade superior à outra (Bauer 1995).

As areias podem decorrer devido a diversos fatores. Iervolino (2009) diz que esses fatores podem ser devido a depósitos residuais e naturais de arenitos inconsolidados, aluviões, solos de alteração, praias, desertos, locais de intemperismo de rochas ricas em quartzo (muito comuns nas zonas de chapadas) e em dunas, porém nesta última a qualidade do material para a construção civil não é muito boa.

Segundo Bauer (2008), as areias podem ter origens diversas, como:

- Britagem: obtida no processo de classificação a seco nas pedreiras, areia de brita. Contém certa porcentagem de material impalpável que pode ser retirado pelo processo úmido nos separadores de areia. Esta operação melhora a qualidade do produto. Porém o processo seco é o mais barato.

- Cava: a areia é extraída por escavação mecânica ou por desmonte hidráulico dos depósitos aluvionares em fundos de vales, recentes ou antigos, cobertos por capa de solo.

- Dunas e praias: as areias encontradas nas dunas e praias possuem grande finura e teor de cloreto de sódio, por isso geralmente não são utilizadas em obras de construção civil.

- Escória: a composição química da escória difere muito das areias derivadas de rochas e varia ainda conforme a composição de carga do alto forno. A escória básica de alto forno, granulada, recebe bruscamente, na saída do forno, um jato de água fria, assim ela se resfria e se fragmenta em grãos, geralmente inferiores a 12,7 mm, é feita uma classificação para a obtenção da areia de escória.

- Rios: são formadas através dos depósitos sedimentares que se formam nos leitos dos rios, a extração da areia é feita por sucção, a água é bombeada para lagos de decantação contendo cerca de 5% a 10% de areia, nesses lagos o material é retirado, em alguns casos é classificado, para retirar partículas de diâmetro superior a 4,8 mm.

Segundo Bernucci et al (2006), as areias são muito utilizadas como base de pavimentos, chamadas de solo-areia. Os finos preenchem os vazios deixados pelos agregados maiores, desta forma, o solo acaba tendo uma maior densidade, permeabilidade e deformabilidade menor, e não sendo tão difícil de compactar.

As areias têm empregos específicos na construção civil dependendo da granulometria e grau de pureza. Iervolino (2009) descreve que para a fabricação de vidros e na indústria cerâmica e refratária são utilizadas areias que possuem baixo teor de ferro. Na siderurgia se empregam areias com alta concentração de sílica. Como abrasivos são aplicadas areias mais finas. Diretamente na construção civil, como, por exemplo, em argamassas e na pavimentação, são aproveitadas areias mais grosseiras, com maior impureza e com variações que vão desde a sua origem até a granulometria. As areias mais utilizadas são as da região sul (Guimarães, 1997).

Iernolino (2009) complementa dizendo que, areia também é acrescentada em concreto, argamassa de assentamento e revestimento, em filtros, lastro e permeabilização de vias e pátios.

2.1.1.1.1 Areias naturais

Os agregados naturais são os que ocorrem onde toda a fonte é natural e são obtidos por processos convencionais. Estes agregados são empregados na pavimentação da mesma forma e tamanho que se encontram na natureza, ou no máximo passam pelo processo de britagem. Segundo Iervolino (2009), materiais naturais são os extraídos em sua forma fragmentar, sendo esta, a forma que se encontra o material na sua área de fonte (Bernucci 2006).

Segundo Kuck (2010), quando se retira areia de um rio há uma agressão em sua calha natural, fazendo com que haja um aumento da vazão surgindo com mais rapidez erosões nas margens.

A extração da areia natural é uma atividade insustentável. Em países europeus e nos Estados Unidos da América a substituição da areia natural pela artificial já é feita desde 1970, porém no Brasil esse mercado da areia artificial é muito restrito.

Segundo Pereira (2004), a extração da areia natural em leito de rios chega a cerca de 90% os restantes 10% são de outras fontes. Os órgãos de fiscalização ambiental, como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente - IBAMA, têm restringido essa atividade extrativa. Desta forma, há necessidade de buscar novas localidades, fazendo com que cada vez mais aumente a distância entre o consumidor e o produtor, sendo em média de 200 km, aumentando assim cerca de 70% o valor do produto final. A figura 1 mostra um exemplo de areia natural.



Figura 1: Areia natural
Fonte: Aoki (2009)

2.1.1.1.2 Areias artificiais

Bianchi (2003) descreve que pó-de-pedra também pode ser uma nomenclatura para a areia artificial.

Segundo Iervolino (2009), os materiais artificiais são os extraídos em forma de blocos e precisam passar por processos de fragmentação, como a areia britada. Bernucci (2006) complementa dizendo que materiais artificiais são produzidos essencialmente com o objetivo de atingir um alto desempenho.

Segundo Pereira (2004), a areia artificial visa obter partículas com especificações para a sua utilização na construção civil, essas especificações são segundo a ABNT, através da NBR-7211 (1983). Conforme esta norma as partículas devem seguir as especificações levando em conta o: tamanho, forma e textura das partículas; resistência, dureza, módulo de elasticidade e impurezas presentes no material, massa específica, absorção de água, resistência, dureza e sanidade, cujo objetivo principal do presente trabalho é adequar ao máximo às características do material proveniente dos finos de brita às características tecnológicas da areia natural.

A produção deste tipo de areia pode ser realizada no canteiro das pedreiras localizadas próximas aos grandes centros urbanos, o que reduziria o custo final da matéria-prima para o seu maior mercado consumidor, a indústria da construção civil. Assim sendo, nota-se uma grande vantagem da areia artificial sobre a natural.

Outra vantagem seria para a saúde humana, pois em alguns casos para a produção de areia artificial se faz o uso das pilhas de finos dos pátios das pedreiras. Este material é leve, podendo ser facilmente carregado pelo ar, causando problemas respiratórios à comunidade que vive próxima às pedreiras, poluição das águas pluviais e o assoreamento de cursos d'água.

Estimam-se que no Brasil em 10 anos cerca de 50% da areia consumida na construção civil será artificial (Iervolino, 2009).

A figura 2 é um exemplo de areia artificial.



Figura 2: Areia artificial

Fonte: Aoki (2009)

2.2 Resistência ao cisalhamento

2.2.1 Definição

De acordo com Das (2007), pode-se definir que a “resistência interna por área unitária que a massa de solo pode oferecer para resistir a rupturas e a deslizamentos ao longo de qualquer

plano no seu interior” é a resistência ao cisalhamento. Leonards (1962) define que tensão de cisalhamento é a tensão de cisalhamento que ocorre na ruptura sobre o plano de ruptura.

Segundo Simons e Menzies (1981), a resistência cisalhante é a tensão cisalhante máxima aplicada em uma estrutura do solo na determinada direção. Quando se atinge o máximo de tensão se considera o rompimento do solo, mobilizando assim totalmente a resistência do solo. Pinto (2002) complementa dizendo que a tensão cisalhante máxima que um solo pode suportar sem sofrer rupturas é a resistência ao cisalhamento que o solo possui.

Cisalhamento é a ruptura dos solos e que geralmente não ocorre através da tensão de tração. Desta forma, podemos concluir que a capacidade que o solo tem em suportar cargas depende da resistência ao cisalhamento, conservando assim a estabilidade do solo.

2.2.2 A natureza da resistência ao cisalhamento

Segundo Simons e Menzies (1981), o rompimento do solo ocorre através do mecanismo plástico de ruptura envolvendo cisalhamento. A água dos vazios do solo não possui resistência ao cisalhamento, desta forma, a resistência que o mesmo possui é devido à resistência estrutural que ele apresenta. Esta resistência da estrutura do solo ao cisalhamento ocorre através da resistência por atrito gerada pelas forças entre partículas. O carregamento transmitido pela estrutura do solo até a superfície de cisalhamento é uma medida integrada destas forças entre partículas. Portanto, a resistência ao cisalhamento em qualquer ponto é uma função da pressão efetiva normal naquele determinado ponto.

Caputo (1988) menciona que importantes problemas da engenharia de solos e fundações são entendidas através da resistência ao cisalhamento do solo.

2.2.3 Medidas da resistência ao cisalhamento

Para definir a resistência ao cisalhamento de um solo pega-se a resultante da soma entre duas componentes: intercepto coesivo e atrito interno entre as partículas do material. Consegue-se este resultado através da equação de Coulomb:

$$\tau = c' + \sigma \cdot \text{tg}\phi' \text{ (Equação 1)}$$

Onde: τ =tensão cisalhante, dado em kPa;

c' = intercepto coesivo, dado em kPa;

σ =tensão normal, dado em kPa;

tg=tangente;

ϕ' =ângulo efetivo de atrito entre o solo e o material, dado em °.

No entanto, deve-se considerar as tensões efetivas que mobilizam a resistência de um solo, desta forma, reescrevendo a equação temos:

$$\tau = c' + (\sigma - u) \cdot \text{tg}\phi' \text{ (Equação 2)}$$

Onde: u =poro-pressão.

2.2.4 Atrito Interno

O atrito interno é a principal componente de resistência nos solos.

Segundo Caputo (1988), o atrito de um solo não é apenas o atrito físico entre as partículas, mas é também o atrito fictício derivado do entrosamento das partículas, pois no solo não há apenas uma superfície de contato, existe uma infinidade de contatos pontuais.

Dependendo do tipo de solo e das características físicas, como a granulometria, o atrito entre as partículas pode ser maior ou menor, gerando assim uma determinada resistência ao deslizamento sobre um determinado plano.

A máxima tensão tangencial necessária para deslizar um corpo sólido em um determinado plano é a resultante da resistência do atrito, podendo ser exemplificado pela equação:

$$\tau = \sigma \cdot \text{tg}\phi' \text{ (Equação 3)}$$

A tensão normal e tangencial formam uma resultante das forças (F), essa resultante forma com a normal um ângulo, denominado ângulo de atrito interno (ϕ'). Esse é o valor máximo de angulação que a normal pode ter com a resultante, não havendo deslizamento. Na figura 3 (a) podemos observar a formação do ângulo de atrito interno.

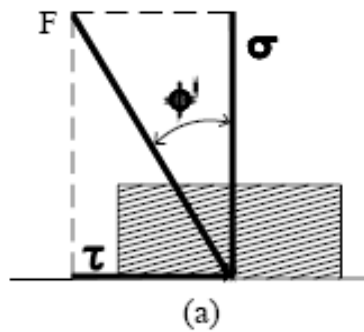


Figura 3 (a): Resultante das tensões normal e cisalhante

Fonte: Pinto (2002)

Na figura 3 (b) podemos observar que a resistência ao deslizamento é diretamente proporcional à tensão.

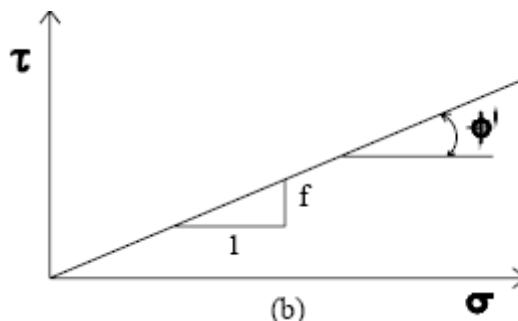


Figura 3 (b): Tensão cisalhante x tensão normal

Fonte: Pinto (2002)

As forças transmitidas entre as partículas de argila e de areia são diferentes. No caso das areias, as forças transmitidas são grandes conseguindo assim expulsar a água da superfície fazendo com que o contato entre os grãos seja direto. Já nas argilas o número de partículas é significativamente maior, fazendo com que a força transmitida seja menor, desta forma, essa força não consegue remover as moléculas de água adsorvidas pelas partículas, e são elas as responsáveis pela transmissão das forças (Pinto, 2002). A figura 3 mostra a transmissão de forças nas areias e nas argilas.

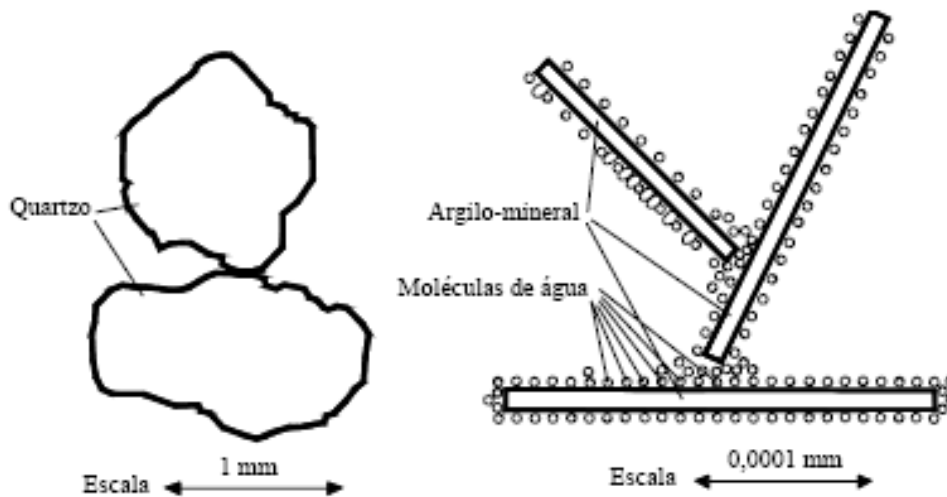


Figura 4: Transmissão de forças entre partículas de areia e argila

Fonte: Pinto (2002)

2.2.5 *Intercepto coesivo*

Pinto (2002) menciona que, o atrito interno entre as partículas é fundamental à resistência ao cisalhamento, porém mesmo que pequena, existe uma parcela que corresponde a esta resistência, denominada intercepto coesivo. Essa parcela atua como uma ligação entre dois corpos, independentemente da tensão normal resultante.

A parcela de intercepto coesivo em solo sedimentares é muito pequena em relação à resistência de atrito entre as partículas. Portanto, em solos evoluídos pedologicamente o intercepto coesivo é significativo.

Caputo (1988) descreve que o intercepto coesivo pode ser distinguido entre intercepto coesivo aparente e intercepto coesivo verdadeiro. O primeiro é devido a pressão capilar da água contida nos solos, agindo como uma pressão externa, desta forma, é encontrada somente em solos úmidos não saturados, desaparecendo quando estes são saturados. Já o intercepto coesivo verdadeiro se deve a forças eletroquímicas de atração das partículas, porém só ocorre em argilas.

2.2.6 Critérios de ruptura

Critérios de rupturas existem para entender as condições em que ocorre a ruptura dos materiais.

Pinto (2002) menciona dois critérios de ruptura: o critério de Mohr e o critério de Coulomb.

O primeiro diz que um material não se rompe devido à máxima tensão normal ou de cisalhamento isolados, mas sim da combinação entre tensão normal e de cisalhamento (Das, 2007). Pinto (2002) complementa dizendo que não existe ruptura enquanto o círculo representativo do estado das tensões não encostar na curva que representa a envoltória dos círculos referentes a estados de rupturas já analisados, como podemos observar na figura 5 (a).

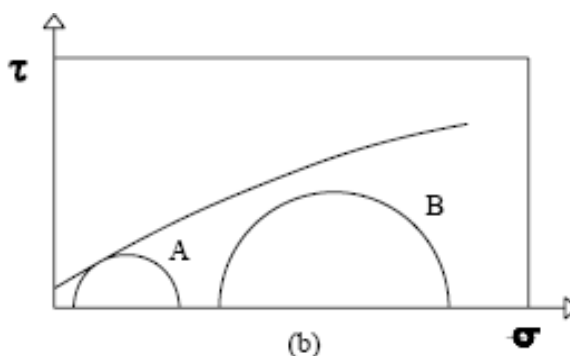


Figura 5 (a): Critério de Mohr

Fonte: Pinto (2002)

Coulomb estabelece que não existe ruptura se a tensão cisalhante não exceder um determinado valor, valor esse obtido na parcela corresponde ao intercepto coesivo, somada ao produto do coeficiente de atrito (f) pela tensão normal (σ) existente no plano de cisalhamento, desta forma obtemos a seguinte equação:

$$\tau > f + c' \cdot \sigma, \text{ sendo } f = \text{tg. } \phi' \text{ (Equação 4)}$$

Na figura 5 (b) podemos verificar os parâmetros de critério de Coulomb.

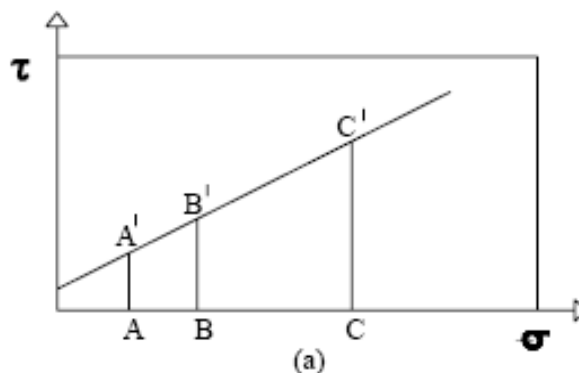


Figura 5 (b): Critério de Coulomb

Fonte: Pinto (2002)

Normalmente se utiliza na Mecânica dos Solos a expressão Mohr-Coulomb, ocorre quando é feita uma reta sobre a envoltória de Mohr, sendo assim o critério de resistência de Mohr semelhante ao de Coulomb.

2.2.7 Tipos de ensaios de cisalhamento

Em laboratório se pode obter a resistência de cisalhamento de um solo através dos seguintes ensaios:

- cisalhamento direto;
- compressão triaxial;
- compressão simples.

Porém os dois primeiros ensaios são os mais utilizados (Pinto, 2002), mas somente o primeiro foi realizado devida a falta de disponibilidade do equipamento para ensaio triaxial no Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUÍ, portanto somente este será descrito neste trabalho.

2.2.7.1 Ensaio de cisalhamento direto

Segundo Pinto (2002), o ensaio de cisalhamento direto é o mais antigos dos ensaios para determinar a resistência ao cisalhamento de um solo, este leva em consideração o critério de Coulomb.

Neste ensaio se determina sob uma tensão normal (σ) qual a tensão de cisalhamento capaz de provocar a ruptura de uma amostra de solo colocada em uma caixa composta de duas partes deslocáveis entre si.

O corpo-de-prova moldado é colocado entre duas pedras porosas, permitindo assim, a drenagem da amostra, quando o tipo de ensaio for considerado com ensaio drenado (Caputo, 1988).

Para obtenção da tensão normal (σ) e da tensão cisalhante (τ), deve-se ter as forças T e N e dividi-las pela área da seção transversal do corpo-de-prova. Como mostra a figura 6 (a).

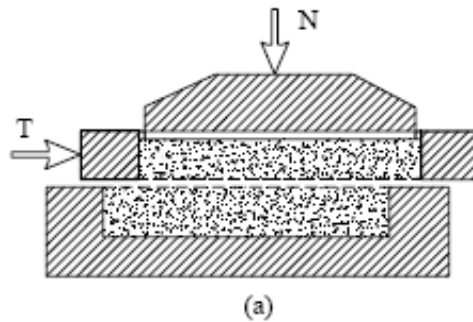


Figura 6 (a): Esquema do equipamento
Fonte: Pinto (2002)

Na figura 6 (b) pode-se observar a tensão cisalhante (τ), que é representada em função do deslocamento horizontal, onde se consegue identificar a tensão de ruptura ($\tau_{\text{máx}}$) e a tensão residual (τ_{res}) do solo estudado.

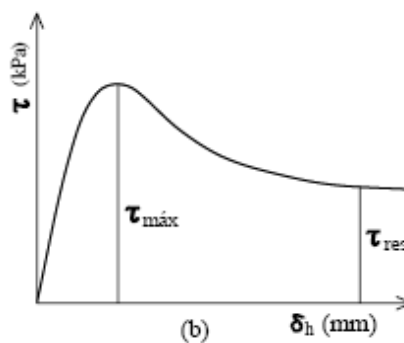


Figura 6 (b): Tensão cisalhante x deslocamento horizontal
Fonte: Pinto (2002)

A figura 6 (c) apresenta a deformação volumétrica do solo, que é a deformação vertical durante cisalhamento, representado em função do deslocamento horizontal.

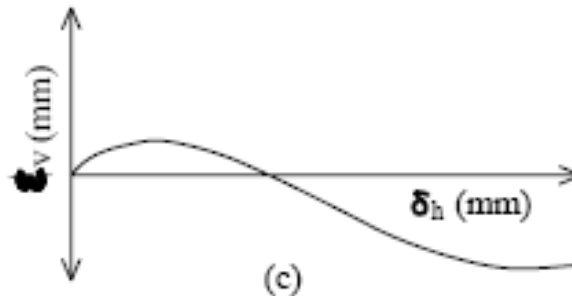


Figura 6 (c): Deformação vertical x deslocamento horizontal
Fonte: Pinto (2002)

Na figura 7 podemos observar os comportamentos típicos das areias submetidas ao ensaio de cisalhamento direto. A figura 7 (a) representa o comportamento de uma areia fofa, onde se observa que o solo apresenta uma tensão que cresce lentamente com a deformação, atingindo um valor máximo somente em deformações relativamente altas. A figura 7 (b) demonstra o comportamento de uma areia densa onde se consegue observar o contrário da 7 (a), a tensão cresce muito mais rapidamente com as deformações, até atingir um valor máximo, considerando este a resistência máxima ou resistência de pico. Porém quando atingido essa resistência de pico a tensão começa a crescer lentamente até sua estabilização que gera em torno de um valor que é definido como a resistência residual.

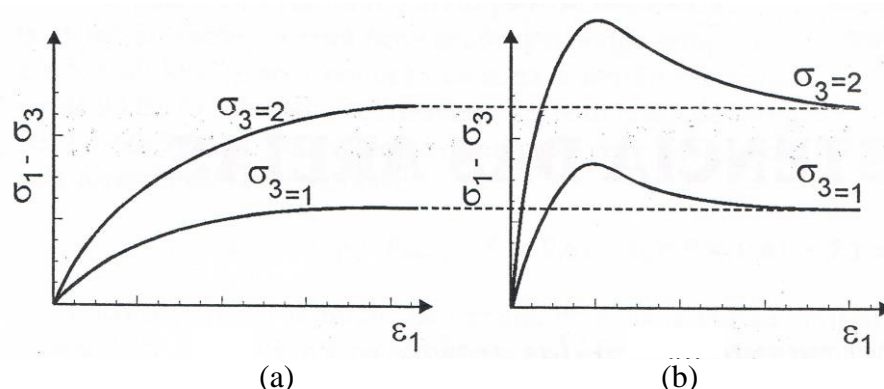


Figura 7: Comportamento típico das areias
(a) Areia fofa; (b) Areia densa
Fonte: Pinto (2002)

Segundo Hachich (2000), quando se repete o ensaio com diferentes tensões normais, se obtém um conjunto de pares de valores da tensão cisalhante (τ) e da tensão normal (σ).

Assim se consegue traçar a envoltória de resistência do solo, já apresentada na figura 5 (a), desta forma, pode-se determinar o intercepto coesivo (c') e o ângulo de atrito interno (ϕ') de um determinado solo.

3. METODOLOGIA

3.1 Classificação do Estudo

Este estudo teve como propósito pesquisar e analisar o comportamento mecânico de dois tipos de areias, uma natural e outra artificial, previamente preparadas em laboratório.

A pesquisa realizada classificou-se como sendo do tipo: bibliográfica, quantitativa e de laboratório, uma vez que se realizou uma revisão literária sobre o tema, coleta de amostras de solo em campo, preparação do material e ensaios em laboratório e, posteriormente, análise e descrição dos resultados numéricos obtidos.

3.2 Planejamento da Pesquisa

O planejamento da pesquisa contempla as seguintes etapas: a) definição do tema, b) problema e objeto de estudo, c) revisão da literatura, d) coleta de dados, e) análise dos resultados, f) conclusões e g) elaboração do relatório.

A pesquisa consistiu em estudar os parâmetros que influenciam a resistência ao cisalhamento nas areias naturais e artificiais preparadas em laboratório.

Neste estudo foram utilizadas areias de duas naturezas: natural (várzea) e artificial (pó-de-pedra). Cada uma foi produzida no LEC - Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUÍ – com uma mistura de três tamanhos diferentes, utilizando 33% de cada tipo de material, considerando como material fino aquele que ficou retido na peneira de nº200, médio o retido na peneira de nº40 e grosso o retido na peneira de nº10, sendo primeiramente passado na peneira de nº4 para separar a parcela mais grossa do solo.

Três tipos de densidade relativa foram aplicadas nas amostras: fofa, medianamente compacta e compacta.

Essas amostras foram utilizadas no ensaio de cisalhamento mais usual: ensaio de cisalhamento direto.

O ensaio de cisalhamento direto foi realizado com quatro amostras para cada tipo de material, sendo aplicada quatro tensões normais diferentes em cada amostra nos valores de: 30 kPa, 60 kPa, 100 kPa e 200 kPa. Desta forma, foram moldados um total de 24 corpos-de-prova. A tabela 2 descreve os três tipos de densidades relativas, duas formas da areia e as quatro tensões aplicadas.

Tabela 2: Descrição dos tipos e formatos dos grãos de areia com suas densidades relativas aplicadas

	Fofa	Medianamente Compacta	Compacta
Natural	NF - 30 kPa	NM - 30 kPa	NC - 30 kPa
	NF - 60 kPa	NM - 60 kPa	NC - 60 kPa
	NF - 100 kPa	NM - 100 kPa	NC - 100 kPa
	NF - 200 kPa	NM - 200 kPa	NC - 200 kPa
Artificial	AF - 30 kPa	AM - 30 kPa	AC - 30 kPa
	AF - 60 kPa	AM - 60 kPa	AC - 60 kPa
	AF - 100 kPa	AM - 100 kPa	AC - 100 kPa
	AF - 200 kPa	AM - 200 kPa	AC - 20 kPa

As respostas obtidas no ensaio de cisalhamento direto foram o intercepto coesivo e o ângulo de atrito interno, em tensões normais diferentes.

3.3 Materiais utilizados

Os materiais utilizados nesta pesquisa bem como suas características e localização são apresentados abaixo.

3.3.1 Areia natural

A areia de várzea, ou natural, utilizada nos ensaios tem origem da cidade de Santa Maria - RS. Esta areia foi peneirada nas peneiras de nº 4, 10, 40 e 200, sendo utilizada a mesma quantidade de material das três últimas para compor o novo material. Os ensaios de caracterização realizados com as areias foram:

- Granulometria - Peneiramento;
- Massa específica real dos grãos - Picnômetro;
- Fotos dos grãos.

3.3.2 Areia artificial

A areia artificial utilizada nos ensaios laboratoriais veio de uma pedreira localizada no Município de Coronel Barros. Esta areia também passou por uma nova composição e pelos mesmos ensaios de caracterização que a areia natural.

3.4 Ensaio de laboratório

3.4.1 Ensaio de caracterização física

Os procedimentos dos ensaios de caracterização física dos materiais utilizados neste estudo serão descritos a seguir.

3.4.1.1 Granulometria

Sabe-se que os solos são constituídos de partículas com diversos tamanhos, tornando-se difícil uma identificação tátil-visual. Desta forma é necessária uma análise granulométrica, que é realizada a partir de ensaios de granulometria. No solo em estudo foi aplicado somente o peneiramento, pois a sedimentação é aplicada na fração mais fina de material, que não é o caso desta pesquisa.

3.4.1.1.1 Peneiramento

O peneiramento é usado para a determinação da granulometria da parcela mais grossa do solo, ou seja, superior a peneira de nº 200, cuja abertura é de 0,074 mm, que é o caso do material em estudo.

Esta técnica consiste em passar uma determinada quantidade de solo, em torno de 1.000 g, em um conjunto de peneiras com aberturas de malhas padronizadas. No presente estudo foram utilizadas as seguintes peneiras: nº 4 (4,76 mm); nº 10 (2,00 mm); nº 40 (0,42 mm) e nº 200 (0,074 mm).

No peneiramento determina-se a porcentagem do material que fica retido em cada peneira do conjunto, de forma decrescente (da maior para a menor), possibilitando ao mesmo tempo a determinação da parcela de solo que passa na peneira e que fica retida. Dessa forma é possível representar graficamente a “porcentagem passante *versus* abertura da peneira (mm)”, esta em escala logarítmica. Considera-se então, que o diâmetro dos grãos é equivalente a abertura das peneiras pela qual o material passa.

Como neste estudo a finalidade era compor dois novos tipos de materiais, um com a areia natural (várzea) e outro com a artificial (pó-de-pedra), foi realizado o peneiramento com as peneiras citadas anteriormente; considerando como fina, média e grossa o material retido nas peneiras de nº 10, 40 e 200 respectivamente. A peneira de nº 4 foi utilizada somente para separar o material mais grosso, considerado como cascalho.

A areia natural composta neste estudo, em laboratório, é constituída de 33% de areia fina, 33% de areia média e 33% de areia grossa, todas de origem natural. O mesmo procedimento foi realizado para a areia artificial, porém com o solo respectivo a ela, ou seja, o pó-de-pedra.

3.4.1.2 Massa específica real dos grãos

A massa específica real é uma característica que expressa a relação entre a massa e o volume das partículas sólidas. É representada pelo símbolo γ_s .

Esta é determinada em laboratório para cada solo com o auxílio de um picnômetro, neste coloca-se uma determinada quantidade de solo seco, e completando-se com água, determina-se assim o peso total. O peso do picnômetro completado só com água, mais o peso do solo, menos o peso do picnômetro com solo e água, é o peso da água que foi substituída pelo solo. Através destes pesos, consegue-se calcular o volume de água que foi substituído pelo solo sendo este o volume do solo. Com a obtenção destes pesos pode-se calcular o peso específico, como exemplifica a equação 5, ou então tendo diretamente o peso e o volume utiliza-se a equação 6.

$$\gamma_s = \frac{P_2 - P_1}{(P_4 - P_1) - (P_3 - P_2)} \text{ (Equação 5)}$$

Onde: γ_s = massa específica real dos grãos (kN/m³)

P1 = peso do picnômetro (g)

P2 = peso do picnômetro + peso do solo (g)

P3 = peso do picnômetro + peso do solo + peso da água (g)

P4 = peso do picnômetro + peso da água (g)

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V_s} \text{ (Equação 6)}$$

Onde: γ_s = massa específica real dos grãos (kN/m³)

P_s = massa de solo seco (kg)

V_s = volume dos grãos dos solos (m³)

Foram realizados dois ensaios para cada tipo de areia, utilizando, portanto dois picnômetros calibrados para se obter uma melhor precisão nos resultados. Foram feitas quatro leituras, de massa (g) e temperatura (°C), para cada ensaio, nas seguintes temperaturas elevadas em banho-maria: $\cong 25$ °C, $\cong 35$ °C, $\cong 45$ °C e $\cong 55$ °C.

Pinto (2002) descreve que a massa específica real dos grãos do solo tem pequena variação e por isso torna-se difícil a sua identificação através desta propriedade. Porém, esta característica física é necessária para o cálculo de outros índices, como o peso específico natural (γ_n), peso específico aparente seco (γ_d) e o índice de vazios (e). Geralmente os valores de γ_s situam em torno de 27 kN/m³. Para os solos em estudo, os valores da massa específica

real dos grãos obtiveram uma média de 26,56 kN/m³ para a areia natural e 29,98 kN/m³ para as areias artificiais.

A determinação da massa específica em laboratório seguiu as prescrições da NBR-6508 - Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica (Método de ensaio). Para essa determinação foram utilizados as misturas dos materiais retidos nas peneiras de n°10, n°40 e n°200. Os resultados dos ensaios podem ser observados no anexo I.

3.4.1.3 Análise Morfológica

No laboratório de Botânica da UNIJUÍ foram tiradas fotos das areias naturais e artificiais através de um microscópio convencional e de um microscópio lupa. Salienta-se que as fotos foram tiradas através de uma máquina semi-profissional acoplada nos microscópios, desta forma a qualidade das mesmas não é a mesma que a observada a olho nu.

A areia natural tem seu formato mais arredondado, isso devido a sua origem ser de várzea. O fluxo da água acaba fazendo com que os grãos se desloquem em movimentos circulares, como pode ser observado na figura 8 (a) e 9 (a).

Na areia artificial podemos observar um formato mais anguloso, os grãos são achatados e pontiagudos, isso devido a ser um solo extraído em forma de blocos e passar somente por processos de fragmentação, como demonstrado na figura 8 (b) e 9 (b).

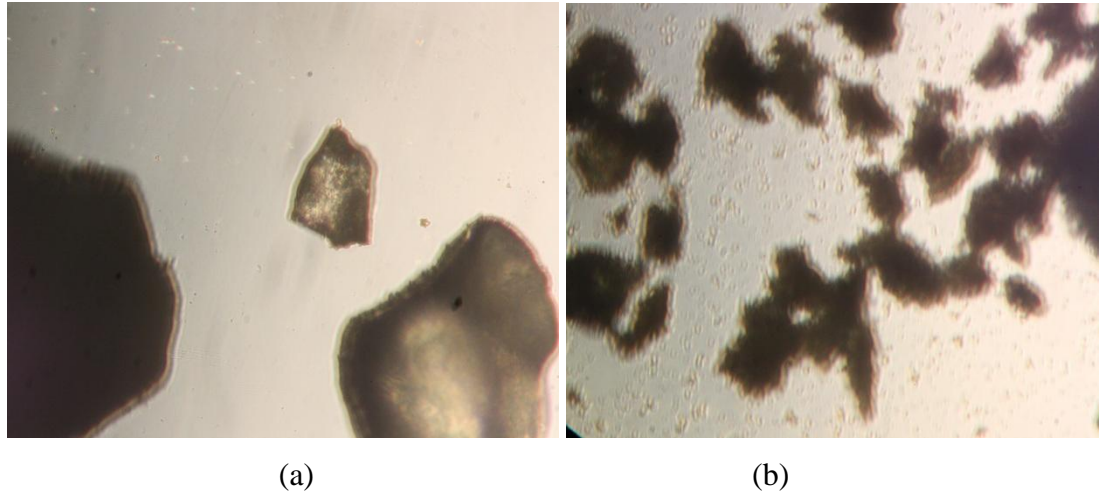


Figura 8: Grãos de areia observados através de um microscópio convencional
(a) Areia natural; (b) Areia artificial

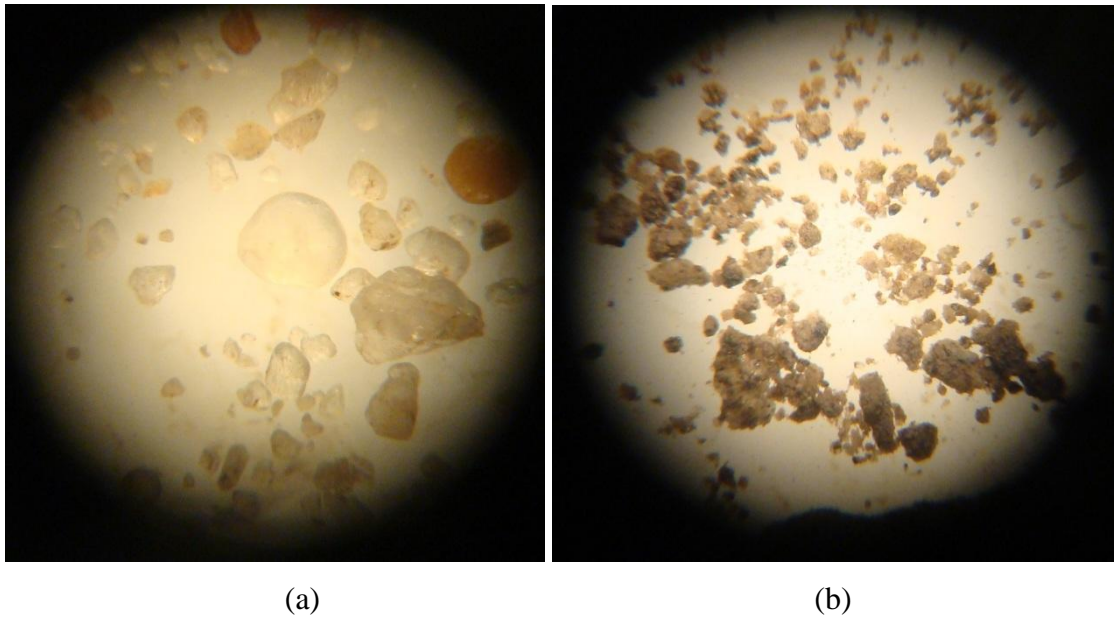


Figura 9: Grãos de areia observados através de um microscópio lupa
(a) Areia natural; (b) Areia artificial

3.4.2 *Ensaio de cisalhamento direto*

Foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil – LEC da UNIJUÍ.

3.4.2.1 Equipamentos

O ensaio de cisalhamento direto foi realizado com base nas técnicas usuais no LEC – Laboratório de Engenharia Civil, as quais são descritas por Head (1981).

Para o estudo da resistência ao cisalhamento dos solos foram preparados 24 corpos-de-prova, considerando a umidade com o valor de 10%, sendo que nos ensaios em que a densidade relativa da amostra era fofa não foram aplicadas umidade, conseqüentemente sem compactação. A tabela 3 apresenta um resumo dos ensaios de cisalhamento direto, os quais foram realizados com uma velocidade de 0,09 mm/min.

Tabela 3: Resumo dos ensaios de cisalhamento direto com seus respectivos parâmetros

Ensaio	Amostra - tipo areia	Densidade relativa	Tensão (kPa)
1	Natural	Fofa	30
2			60
3			100
4			200
5		Medianamente Compacta	30
6			60
7			100
8			200
9		Compacta	30
10			60
11			100
12			200
13	Artificial	Fofa	30
14			60
15			100
16			200
17		Medianamente Compacta	30
18			60
19			100
20			200
21		Compacta	30
22			60
23			100
24			200

Para o ensaio de cisalhamento direto são necessário os seguintes equipamentos:

- Caixa bipartida dotada de placas dentadas e perfuradas, pedras porosas de topo e base, quepe para transmissão de carga e papéis filtro;
- Molde do corpo-de-prova (cp), no caso das areias em que a densidade relativa era fofa a amostra era colocada diretamente na caixa bipartida, pois não tinha como moldá-las sem umidade;

- Prensa equipada com motor e sistema de transmissão de carga (pendural);
- Extensômetros mecânicos ou transdutores elétricos de deslocamento;
- Anel de carga ou célula de carga elétrica.

Na figura 10 pode-se ver o equipamento para o ensaio de cisalhamento direto que o LEC possui.



Figura 10: Equipamento de ensaio de cisalhamento direto do LEC

3.4.2.2 Preparação do corpo-de-prova

O corpo de prova a ser ensaiado pode ser de solo compactado ou talhado de uma amostra indeformada. Neste estudo duas, das três amostras, foram compactadas e outra foi colocada diretamente na caixa de cisalhamento sem compactação e umidade.

A amostra de solo, depois de moldada quando necessário, é colocada numa caixa de cisalhamento constituída de duas partes, conforme mostram as figuras 11 e 12. Uma das partes permanece fixa, enquanto a outra é movimentada horizontalmente quando submetida a uma força tangencial (T), provocando tensões cisalhantes no solo. Durante o ensaio é mantida uma tensão normal na amostra, resultante de uma carga vertical (N). A figura 13 representa o solo após o ensaio de cisalhamento direto.

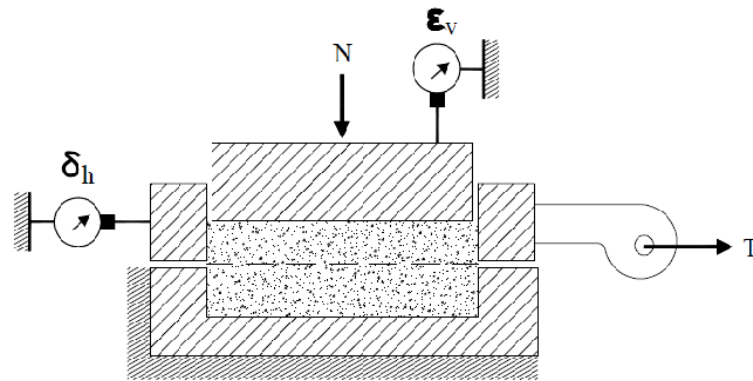


Figura 11: Esquema do ensaio de cisalhamento direto

Fonte: Adaptada de Machado (1997)



Figura 12: Esquema do ensaio de cisalhamento direto



Figura 13: Solo após o ensaio de cisalhamento direto

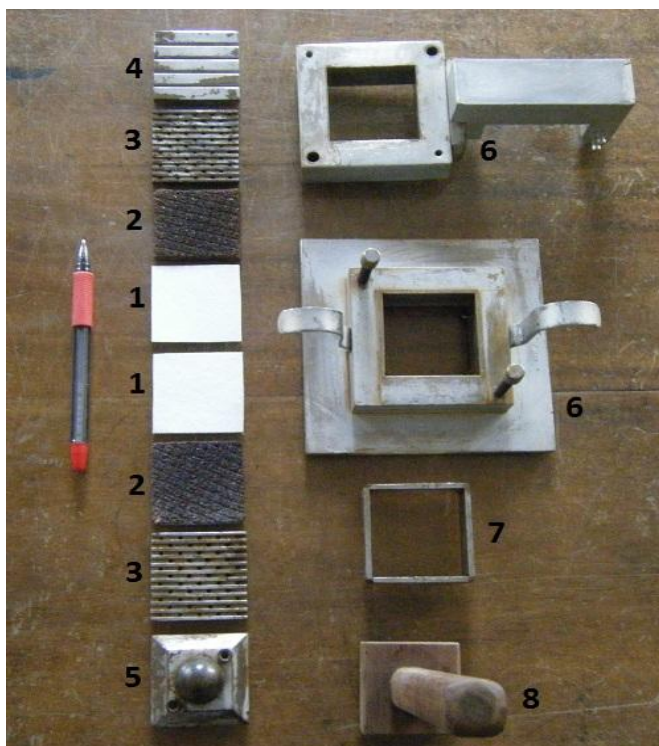
Quando o corpo-de-prova é colocado na caixa de cisalhamento, deve-se usar pedras porosas e papéis filtro na sua face superior e inferior, permitindo drenagem do material durante o ensaio.

Deve-se salientar que, neste estudo, os corpos-de-prova que receberam a densidade relativa medianamente compacta e compacta foram moldados na umidade equivalente a 10%. Para os solos em que a densidade relativa era fofa os solos foram colocados diretamente na caixa de cisalhamento, sem umidade e compactação.

Para a confecção dos corpos-de-prova foram seguidas as seguintes etapas:

- Destorroamento do solo;
- Peneiramento nas peneiras de nº 4, 10, 40 e 200;
- Cálculo e pesagem da quantidade de solo necessária para a mistura e moldagem dos corpos-de-prova com densidade aparente máxima;
- Adição de 10% de água e homogeneização dos materiais;
- Compactação da amostra, quando necessário, no molde utilizando toda a quantidade de solo pré-determinada, a fim de obter um corpo-de-prova cúbico com as seguintes dimensões 5,05 x 5,05 x 1,97 cm, nas mesmas condições de densidade e umidade especificadas.
- Pesagem do corpo de prova juntamente com o molde metálico;
- Extração do corpo-de-prova do molde, empurrando aos poucos o solo para baixo até que o cp preencha todo o volume do molde e montagem deste na caixa de cisalhamento;
- Transferir o corpo de prova do molde para a caixa de cisalhamento.

A figura 14 demonstra todos os acessórios do equipamento necessário para o ensaio de cisalhamento direto.



- 1 – Papel filtro;
 2 – Pedra porosa;
 3 – Placa metálica perfurada;
 4 – Fundo metálico removível;
 5 – Tampa de compressão da carga normal com esfera de aço;
 6 – Célula bipartida ou caixa de cisalhamento direto;
 7 – Molde (5,05 x 5,05 x 1,97);
 8 – Martelo de madeira.

Figura 14: Todos os acessórios para a montagem do molde no equipamento

A sequência de montagem da amostra na célula de cisalhamento direto está descrita abaixo, considerando os acessórios da figura 14:

- 1º Colocar o fundo metálico removível (4) na caixa de cisalhamento com os parafusos (6);
- 2º Sobre o fundo metálico colocar a placa metálica perfurada (3);
- 3º Sobrepor a pedra porosa (2);
- 4º Inserir o papel filtro (1);
- 5º Extrair a amostra do molde (7) com o martelo de madeira (8) e colocar sobre o papel filtro (1);
- 6º Sobrepor a outra pedra porosa (2);
- 7º Inserir outra placa metálica perfurada (3);
- 8º E por fim, acoplar a tampa de compressão com a esfera de aço (5).

Resistência ao cisalhamento nas areias: efeito da natureza do grão e da compactidade.

3.4.2.3 Procedimento do Ensaio

- Instalar na prensa a caixa de cisalhamento, ver figura 15, contendo o corpo-de-prova entre os acessórios como exemplificado na figura 14;
- Colocar o pendural para aplicação da tensão vertical e ajustar o extensômetro vertical para dar início à fase de adensamento do ensaio lento drenado, conforme figura 16;
- Aplicar o carregamento através dos pesos previamente definidos e iniciar as leituras de deformação do cp, como demonstram as figuras 17 e 18. Quando as deformações se estabilizarem é dado por concluído esta fase;
- O início do cisalhamento se dará após os ajustes do extensômetro horizontal e do sensor (anel ou célula de carga) que irá medir a força cisalhante desenvolvida durante o ensaio.
- O ensaio foi realizado com uma velocidade de 0,09 mm/min e inundado.

Durante a realização do ensaio, cada corpo-de-prova foi submetido a uma tensão normal constante de 30, 60, 100 e 200 kPa, com o objetivo de determinar alguns pares de tensões (cisalhante x normal) na ruptura da amostra.

O ensaio permite três leituras: deslocamento horizontal (D_h), força cisalhante (T) e deformação vertical (D_v), a qual fornece a variação do volume, deformação volumétrica, do corpo-de-prova.

No anexo II encontram-se as planilhas que descrevem os resultados obtidos nos ensaios de cisalhamento direto.

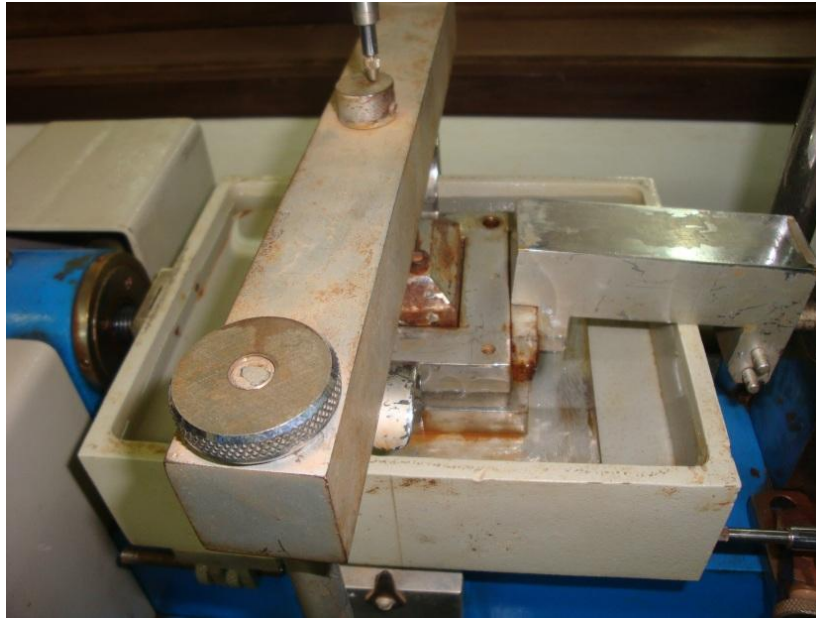


Figura 15: Caixa de cisalhamento montada e inundada



Figura 16: Extensômetro vertical



Figura 17: Pesos utilizados para o carregamento



Figura 18: Exemplo de carregamento aplicado

4. RESULTADOS

No presente capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos dos ensaios de cisalhamento direto, objetivando determinar os parâmetros de resistência mecânica para aplicação em estudos de obras geotécnicas.

4.1 Resistência ao cisalhamento

A resistência ao cisalhamento de um solo é devida a resultante da soma de duas parcelas, sendo elas os parâmetros de ângulo de atrito interno (ϕ') e o intercepto coesivo entre as partículas (c') (Bernardi, 2006).

Neste estudo, os valores de (ϕ') e (c') foram determinados por meio dos ensaios de cisalhamentos direto, descritos no item 3.4.2 – Ensaio de cisalhamento direto. Estes ensaios foram realizados na velocidade de 0,09 mm/min, inundados e usando dois tipos de compactação quando necessário. No caso das areias com densidade relativa fofa, não foi necessária a compactação, já nos casos de densidades relativas medianamente compacta e compacta foram utilizadas compactação normal, sendo aplicada uma compactação maior no caso dos solos em que a densidade relativa foi compacta.

Os próximos itens são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de cisalhamento dos dois solos estudados, areia artificial e natural, nas quatro diferentes tensões normais (σ) aplicadas, sendo elas: 30, 60, 100 e 200 kPa. Também é apresentada a análise e sistematização dos resultados, com a finalidade de traçar as envoltórias de resistência dos dois tipos de areias. Através do traçado das envoltórias foram determinados os ângulos de atrito interno (ϕ') e o intercepto coesivo (c') para cada solo. As planilhas contendo os dados obtidos nos ensaios de cisalhamento direto são mostrados no anexo II.

4.1.1 Resultados para areia fofa

Neste ensaio não houve a aplicação de umidade e a amostra foi depositada diretamente no equipamento sem compactação.

A figura 19 mostra o gráfico da tensão cisalhante durante o ensaio das oito amostras de areia; sendo quatro areias naturais e quatro areias artificiais; submetidas às tensões normais efetivas de 30, 60, 100 e 200 kPa e densidade relativa fofa. Pode-se observar diferenças entre os traçados do gráfico para as duas diferentes areias.

As areias naturais têm um comportamento diferente das artificiais, pois como se pode observar no gráfico os seus valores seguem constantes. Outra verificação que podemos observar é que no aumento das tensões aplicadas a resistência da areia natural tem um acréscimo, porém quando se compara este parâmetro com a areia artificial a areia natural tem desvantagem desde o início do deslocamento do solo.

No caso das areias artificiais, seu comportamento é diferente da natural, o traçado segue uma tendência com maiores picos de resistência ao longo do deslocamento, não seguindo com valores próximos, e tendo assim uma resistência mecânica maior ao longo das aplicações das tensões, além de ter valores mais altos desde o início do deslocamento do solo.

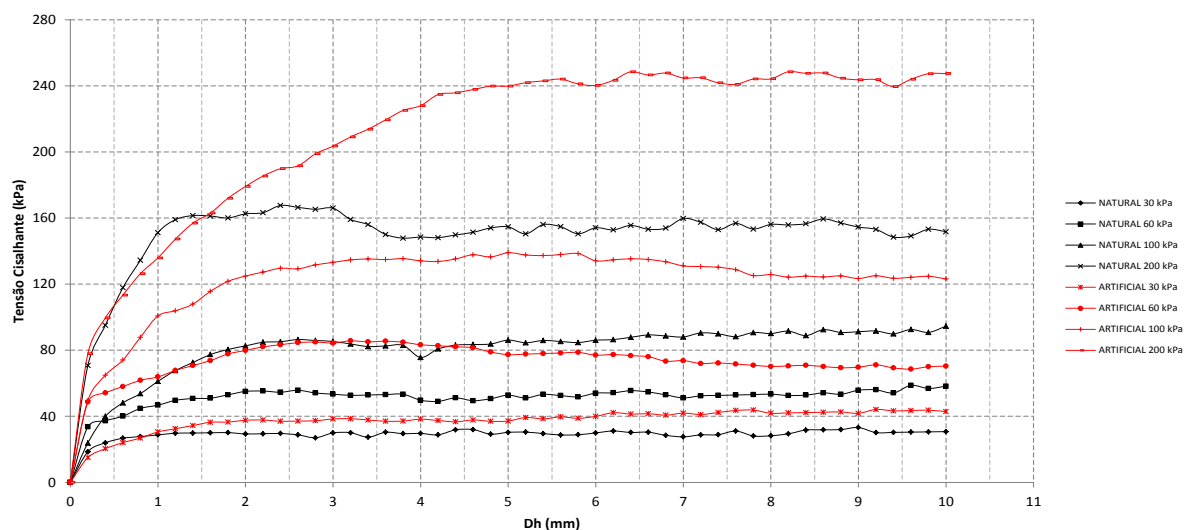


Figura 19: Tensão cisalhante x deslocamento horizontal areia fofa natural e artificial

4.1.2 Resultados para areia medianamente compacta

Neste ensaio houve a aplicação de 10% de umidade e a amostra foi moldada com uma densidade relativa de medianamente compacta.

A figura 20 mostra o gráfico da tensão cisalhante durante o ensaio das oito amostras de areia; sendo quatro areias naturais e quatro areias artificiais; submetidas às tensões normais efetivas de 30, 60, 100 e 200 kPa e densidade relativa medianamente compacta. Pode-se observar diferenças entre os traçados do gráfico para as duas diferentes areias.

As areias naturais continuam seguindo uma tendência de valores constantes onforme o aumento das tensões, apesar de neste caso haver umidade e uma média compactação. O deslocamento inicial do solo provocado pelas quatro tensões é maior na areia natural, porém este valor não é muito diferente e com um maior deslocamento a mesma acaba tendo um comportamento constante, não ganhando resistência ao longo do deslocamento, fazendo com que a sua resistência final seja menor do que a resistência final da areia artificial.

No caso das areias artificiais, seu comportamento é diferente da natural, o traçado segue uma tendência com maiores picos de resistência ao longo do deslocamento, apesar de haver valores de resistência menor do que a areia natural em pequenos deslocamentos do solo, ao longo da deformação este tipo de material ganha uma resistência final muito maior do que a areia artificial.

Este caso apresenta uma resistência mecânica maior do que quando aplicada nos solos uma densidade relativa fofa, sem umidade e moldagem.

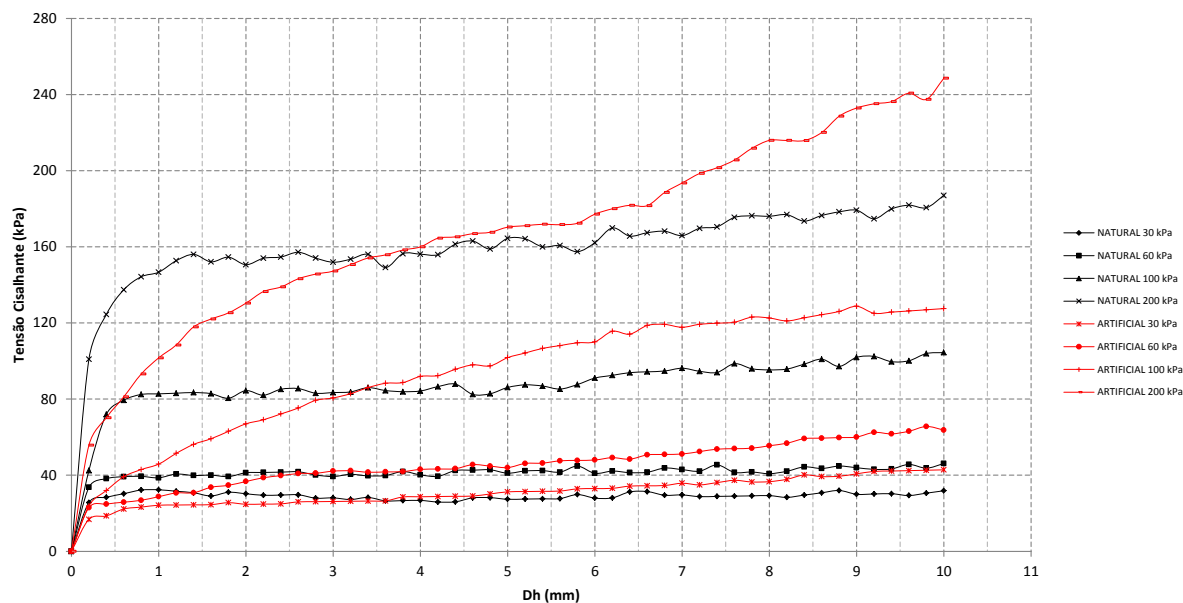


Figura 20: Tensão cisalhante x deslocamento horizontal areia medianamente compacta natural e artificial

4.1.3 Resultados para areia compacta

Neste ensaio houve a aplicação de 10% de umidade e a amostra foi moldada com uma densidade relativa compacta.

A figura 21 mostra o gráfico da tensão cisalhante durante o ensaio das oito amostras de areia; sendo quatro areias naturais e quatro areias artificiais; submetidas às tensões normais efetivas de 30, 60, 100 e 200 kPa e densidade relativa compacta. Pode-se observar diferenças entre os traçados do gráfico para as duas diferentes areias.

As areias naturais continuam seguindo uma tendência de valores constantes conforme o aumento das tensões, apesar de neste caso haver umidade e uma compactação maior. Neste caso, o deslocamento inicial do solo provocado pelas quatro tensões é maior na areia artificial, diferente dos outros solos observados nos itens: 4.1.1 - Resultados para areia fofa e 4.1.2 - Resultados para areia medianamente compacta. Ao longo do deslocamento do solo a areia natural acaba tendo um comportamento constante, não ganhando resistência, fazendo com que a artificial seja melhor.

No caso das areias artificiais, seu comportamento continua diferente da natural, o traçado segue uma tendência com maiores picos de resistência desde o início do deslocamento do solo e tendo assim uma resistência mecânica maior.

Este caso apresenta a maior das resistências estudadas, como representa a figura 20.

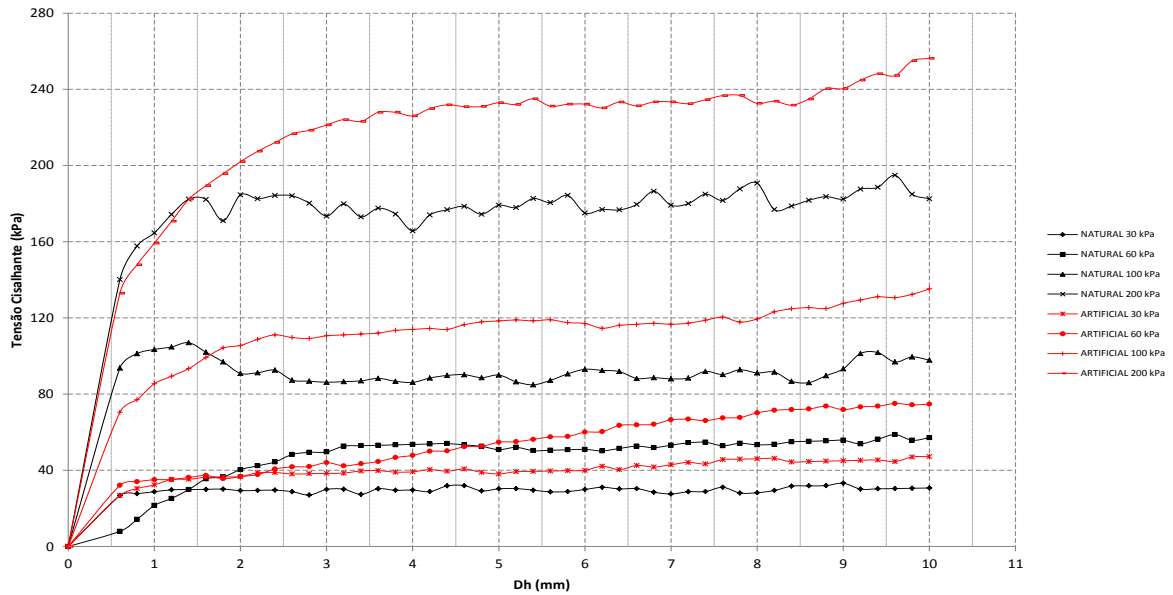


Figura 21: Tensão cisalhante x deslocamento horizontal areia compacta natural e artificial

4.2 Análise Global

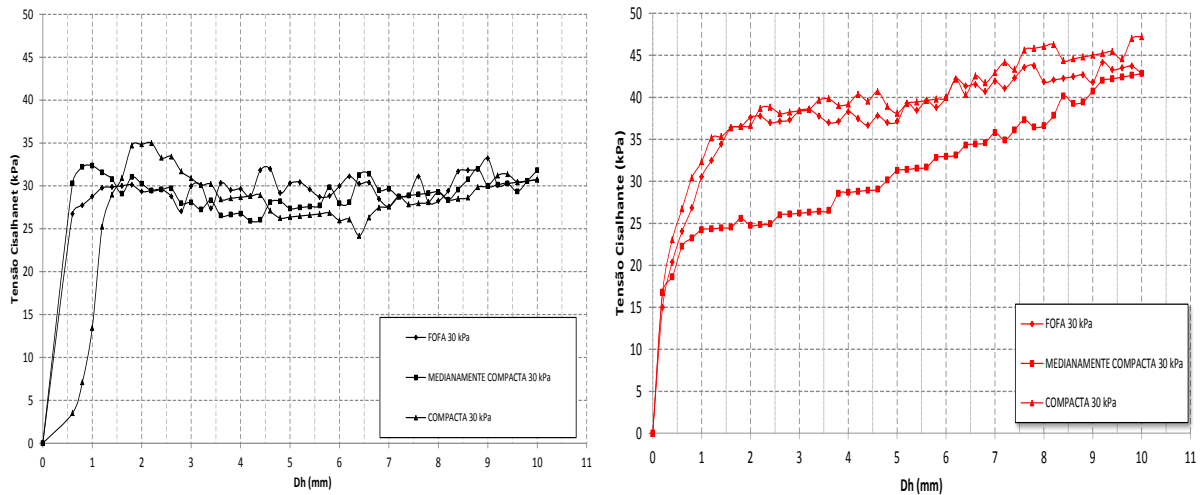
4.2.1 Análise da tensão normal na areia natural e na areia artificial

4.2.1.1 Areia natural e artificial com tensão normal de 30 kPa

A figura 22 (a) mostra o gráfico da tensão cisalhante durante o ensaio das três amostras de areia natural; submetidas à tensão normal efetiva de 30 kPa e três densidades relativas: fofa, medianamente compacta e compacta. Neste caso, as linhas de tendência do gráfico seguem praticamente uma constante de valores de resistência, mesmo com a mudança das densidades relativas.

A figura 22 (b) mostra o gráfico da tensão cisalhante durante o ensaio das três amostras de areia artificial; submetidas à tensão normal efetiva de 30 kPa e três densidades relativas: fofa, medianamente compacta e compacta. Neste caso, as linhas de tendência do gráfico não seguem constantes e os solos tiveram um comportamento parecido somente nas densidades relativas compacta e fofa. Assim, como no caso da areia natural, se obteve a maior resistência quando o solo foi submetido a uma densidade relativa compacta.

Pode-se observar que a areia artificial compacta teve valores de resistência maiores do que a areia natural compacta.



(a)

(b)

Figura 22: Tensão cisalhante x deslocamento horizontal 30 kPa

(a): Areia natural 30 kPa, (b): Areia artificial

4.2.1.2 Areia natural e artificial com tensão normal de 60 kPa

A figura 23 (a) mostra o gráfico da tensão cisalhante durante o ensaio das três amostras de areia natural; submetidas à tensão normal efetiva de 60 kPa e três densidades relativas: fofa, medianamente compacta e compacta. Neste caso, as linhas de tendência do gráfico seguem constantes e valores de resistência próximos mesmo com a mudança das densidades relativas, porém a resistência é maior quando aplicado densidade relativa fofa e compacta, pois ambas quando em um maior deslocamento obtêm valores próximos de resistência.

A figura 23 (b) mostra o gráfico da tensão cisalhante durante o ensaio das três amostras de areia artificial; submetidas à tensão normal efetiva de 60 kPa e três densidades relativas: fofa, medianamente compacta e compacta. Neste caso, as linhas de tendência do gráfico não seguem constantes e os valores de resistência são próximos apenas nas densidades relativas medianamente compactas e compactas. No caso em que a densidade relativa aplicada foi fofa os valores de resistência tiveram picos maiores em pequenos deslocamentos do solo, porém com o aumento do deslocamento estes valores diminuíram e se aproximaram das outras densidades aplicadas.

Portanto, se consegue observar que os valores de resistência maior são nos casos de areia artificial aplicada a uma densidade relativa fofa.

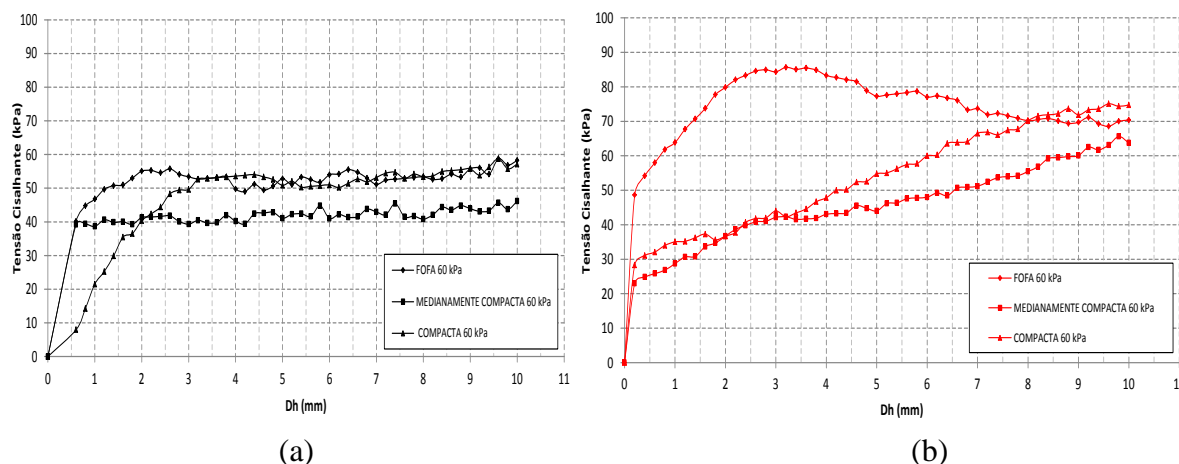


Figura 23: Tensão cisalhante x deslocamento horizontal 60 kPa
(a): Areia natural, (b): Areia artificial

4.2.1.3 Areia natural e artificial com tensão normal de 100 kPa

A figura 24 (a) mostra o gráfico da tensão cisalhante durante o ensaio das três amostras de areia natural; submetidas à tensão normal efetiva de 100 kPa e três densidades relativas: fofa, medianamente compacta e compacta. Neste caso, as linhas de tendência do gráfico seguem uma constante de valores de resistência, apesar das mudanças de densidades relativas, porém a resistência é maior quando aplicado densidade relativa medianamente compacta.

A figura 24 (b) mostra o gráfico da tensão cisalhante durante o ensaio das três amostras de areia artificial; submetidas à tensão normal efetiva de 100 kPa e três densidades

relativas: fofa, medianamente compacta e compacta. Neste caso, as linhas de tendência do gráfico seguem picos de resistência, os valores não são próximos, apenas quando o deslocamento do solo é maior. A resistência mais elevada é quando se aplica uma densidade relativa fofa.

Da mesma forma que os outros casos de tensões já citados a areia artificial teve um valor de resistência maior do que areia natural, neste caso, quando a densidade relativa aplicada foi fofa.

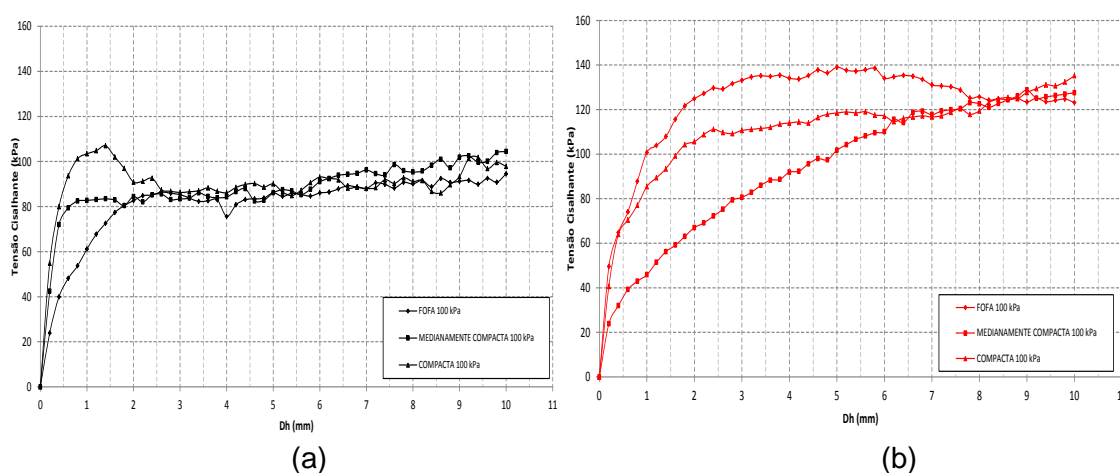


Figura 24: Tensão cisalhante x deslocamento horizontal 100 kPa
(a): Areia natural, (b): Areia artificial

4.2.1.4 Areia natural e artificial com tensão normal de 200 kPa

A figura 25 (a) mostra o gráfico da tensão cisalhante durante o ensaio das três amostras de areia natural; submetidas à tensão normal efetiva de 200 kPa e três densidades relativas: fofa, medianamente compacta e compacta. Neste caso, as linhas de tendência do gráfico seguem constantes, tendo assim valores de resistência próximos mesmo com a mudança das densidades relativas, porém a resistência é um pouco maior quando aplicado densidade relativa compacta.

A figura 25 (b) mostra o gráfico da tensão cisalhante durante o ensaio das três amostras de areia artificial; submetidas à tensão normal efetiva de 100 kPa e três densidades relativas: fofa, medianamente compacta e compacta. Neste caso, as linhas de tendência do gráfico não seguem constantes, tendo maiores picos de resistência, os valores não são

próximos, apenas quando há um deslocamento maior e as densidades relativas aplicadas são fofa e compacta.

Da mesma forma que os outros casos de tensões já citados a areia artificial teve um valor de resistência maior do que areia natural, neste caso em que a densidade relativa aplicada foi compacta.

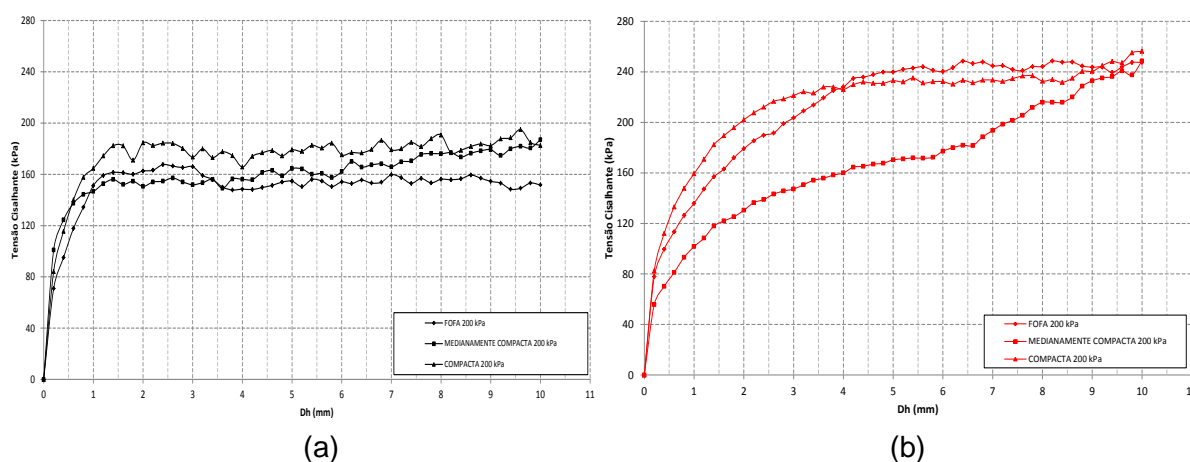


Figura 25: Tensão cisalhante x deslocamento horizontal 200 kPa
(a): Areia natural, (b): Areia artificial

4.2.2 Análise do ângulo de atrito interno e do intercepto coesivo

Com os valores dos gráficos anteriores foi possível extrair os valores de tensão cisalhante máxima, ou de pico, de cada solo, nas tensões normais de 30, 60, 100 e 200 kPa. Os respectivos valores de tensão cisalhante de pico x tensão normal são apresentadas nos próximos gráficos, com essa relação obteve-se os valores do ângulo de atrito interno e o do intercepto coesivo.

Ressaltando que os valores da tensão cisalhante de pico para a areia artificial tiveram como critério a máxima tensão cisalhante encontrada, pois o comportamento deste tipo de solo é diferente do teórico, tendo assim uma maior dificuldade para interpretação dos dados.

4.2.2.1 Análise da areia natural e artificial fofa

A tabela 4 representa o envoltório de resistência das areias naturais e artificiais, com densidade relativa fofa, onde se pode observar que os valores da tensão cisalhante são maiores na areia artificial.

Tabela 4: Envoltórias de resistência

Amostra: Areia natural fofa		Local: Ijuí		Amostra: Areia artificial fofa		Local: Ijuí	
Energia de Compactação: Normal		Condição do Ensaio: Inundado		Energia de Compactação: Normal		Condição do Ensaio: Inundado	
Densidade máxima (kN/m ³): 16,50		Úmidade ótima (%): 10		Densidade máxima (kN/m ³): 16,50		Úmidade ótima (%): 10	
TENSÃO NORMAL (kPa)	TENSÃO CISALHANTE DE PICO (kPa)	TENSÃO NORMAL (kPa)	TENSÃO CISALHANTE DE PICO (kPa)	TENSÃO NORMAL (kPa)	TENSÃO CISALHANTE DE PICO (kPa)	TENSÃO NORMAL (kPa)	TENSÃO CISALHANTE DE PICO (kPa)
30	30,13	30	42,83	60	69,99	100	124,72
60	55,28	100	161,46	200	247,46		
100	86,44						
200	161,46						

Na figura 26 podemos observar que o ângulo de atrito interno da areia artificial é $\phi' = 50,74^\circ$ maior do que o da areia natural que $\phi' = 37,54^\circ$. Por outro lado o intercepto coesivo da areia natural é maior do que o da areia artificial, mesmo assim pode-se considerar que a areia artificial tem maior resistência que a areia natural, pois para definir a resistência ao cisalhamento de um solo pega-se a resultante da somatória entre essas duas componentes e o intercepto coesivo corresponde a menor parcela, sendo o ângulo de atrito interno a principal componente.

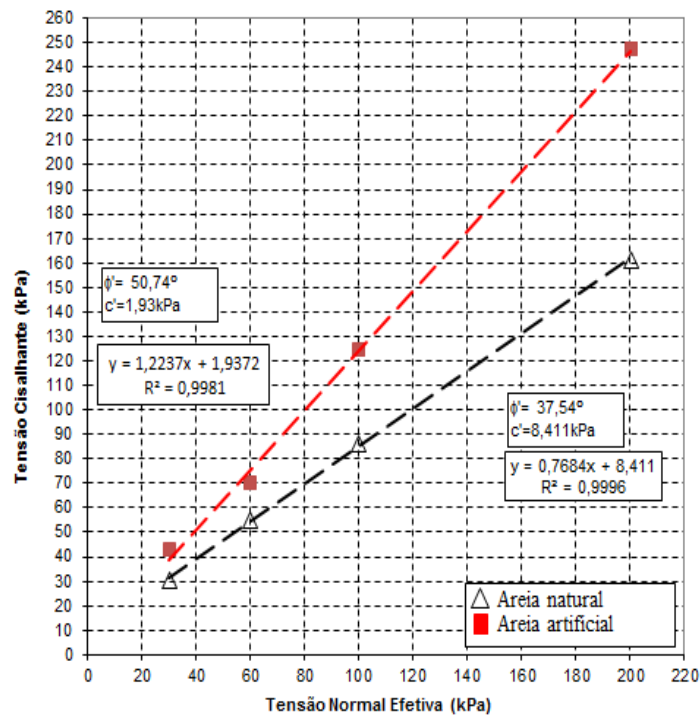


Figura 26: Envoltório de resistência da areia natural e areia artificial

4.2.2.2 Análise da areia natural e artificial medianamente compacta

A tabela 5 representa o envoltório de resistência das areias naturais e artificiais, com densidade relativa medianamente compacta, onde se pode observar que os valores da tensão cisalhante continuam maiores para os casos em que foram utilizados areia artificial.

Tabela 5: Envoltórias de resistência

Amostra: Areia natural med. compacta		Local: Ijuí		Amostra: Areia artificial med. compacta		Local: Ijuí	
Energia de Compactação: Normal		Condição do Ensaio: Inundado		Energia de Compactação: Normal		Condição do Ensaio: Inundado	
Densidade máxima (kN/m³): 16,50		Úmidade ótima (%): 10		Densidade máxima (kN/m³): 16,50		Úmidade ótima (%): 10	
TENSÃO NORMAL (kPa)	TENSÃO CISALHANTE DE PICO (kPa)	TENSÃO NORMAL (kPa)	TENSÃO CISALHANTE DE PICO (kPa)	TENSÃO NORMAL (kPa)	TENSÃO CISALHANTE DE PICO (kPa)	TENSÃO NORMAL (kPa)	TENSÃO CISALHANTE DE PICO (kPa)
30	32,34	30	42,83	30	42,83	30	42,83
60	39,38	60	63,73	60	63,73	60	63,73
100	83,42	100	127,54	100	127,54	100	127,54
200	156,02	200	248,56	200	248,56	200	248,56

Na figura 27 podemos observar que o ângulo de atrito interno da areia artificial é $\phi' = 51,23^\circ$ maior do que o da areia natural que $\phi' = 38,34^\circ$. Por outro lado o intercepto coesivo da areia natural é maior do que o da areia artificial, mesmo assim pode-se considerar que a areia artificial tem maior resistência que a areia natural, pois para definir a resistência ao cisalhamento de um solo pega-se a resultante da somatória entre essas duas componentes e o

intercepto coesivo corresponde a menor parcela, sendo o ângulo de atrito interno a principal componente.

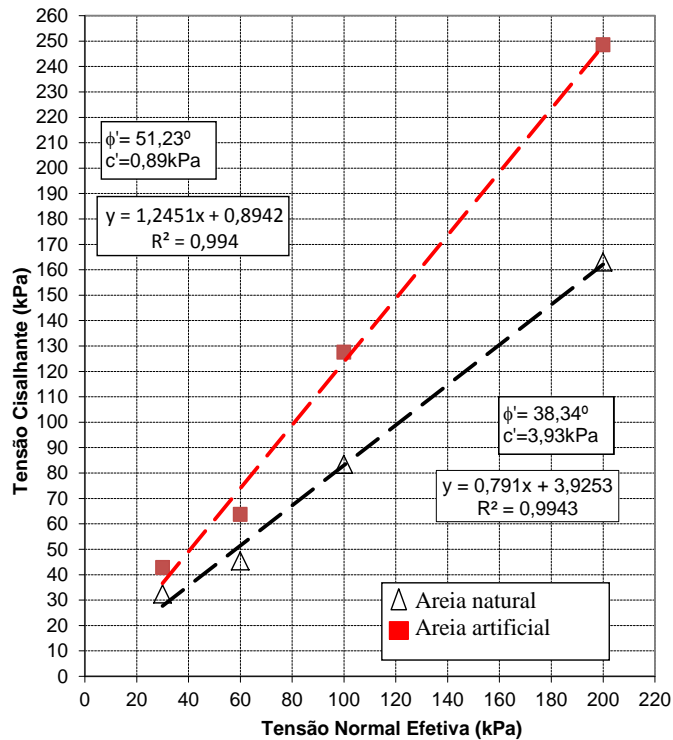


Figura 27: Envoltório de resistência da areia natural e areia artificial

4.2.2.3 Análise da areia natural e artificial compacta

A tabela 6 representa o envoltório de resistência das areias naturais e artificiais, com densidade relativa compacta, onde se pode observar que os valores da tensão cisalhante são maiores na areia artificial.

Tabela 6: Envoltório de resistência

Amostra: Areia natural compacta		Amostra: Areia artificial compacta	
Local: Ijuí		Local: Ijuí	
Energia de Compactação: Normal		Energia de Compactação: Normal	
Condição do Ensaio: Inundado		Condição do Ensaio: Inundado	
Densidade máxima (kN/m ³): 16,50		Densidade máxima (kN/m ³): 16,50	
Úmidade ótima (%): 10		Úmidade ótima (%): 10	
TENSÃO NORMAL (kPa)	TENSÃO CISALHANTE DE PICO (kPa)	TENSÃO NORMAL (kPa)	TENSÃO CISALHANTE DE PICO (kPa)
30	34,99	30	47,23
60	54,06	60	74,73
100	107,02	100	132,39
200	182,33	200	256,26

Na figura 28 podemos observar que o ângulo de atrito interno da areia artificial é $\phi' = 51,36^\circ$ maior do que o da areia natural que $\phi' = 41,48^\circ$. Por outro lado o intercepto coesivo da areia natural é maior do que o da areia artificial, mesmo assim pode-se considerar que a areia

artificial tem maior resistência que a areia natural, pois para definir a resistência ao cisalhamento de um solo pega-se a resultante da somatória entre essas duas componentes e o intercepto coesivo corresponde a menor parcela, sendo o ângulo de atrito interno a principal componente.

Das três densidades relativas aplicadas, as areias que receberam uma compactação maior foram as que obtiveram os valores máximos para a resistência mecânica, e também os solos de origem artificial obtiveram os melhores resultados.

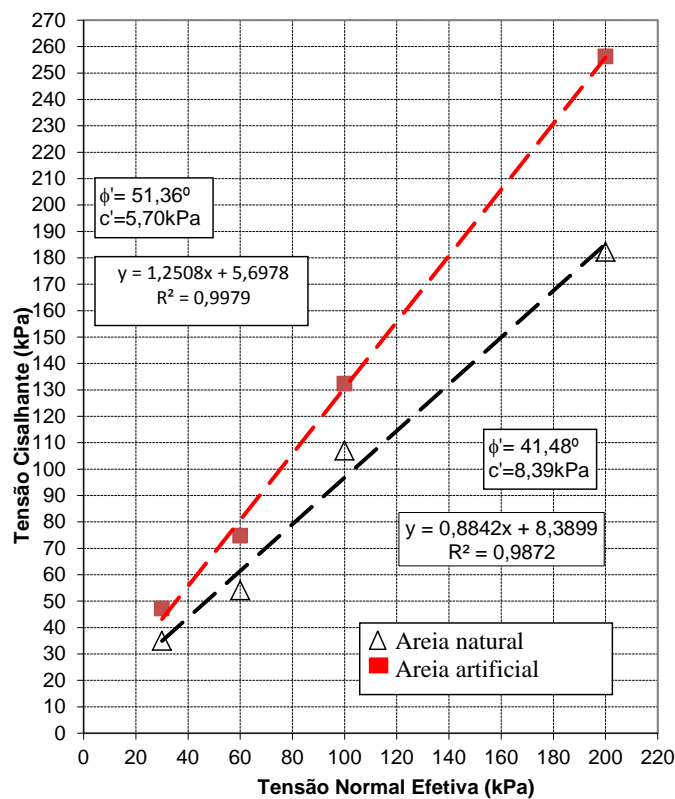


Figura 28: Envoltório de resistência da areia natural e areia artificial

4.2.3 Análise do ângulo de atrito interno e densidade relativa nos dois tipos de solo

A figura 29 apresenta uma análise do ângulo de atrito interno dos dois tipos de areia relacionadas com a densidade relativa aplicada em cada uma delas. Considerando como 0,0 quando não há densidade relativa aplicada, ou seja fofa, 0,5 quando a densidade relativa é considerada com medianamente compacta e 1,0 quando a densidade relativa é compacta.

Como se pode observar no gráfico, conforme o aumento da densidade relativa há um pequeno aumento do ângulo de atrito interno, consequentemente maior resistência mecânica.

As areias naturais obtiveram uma variação menor no ângulo de atrito interno conforme o aumento da densidade relativa, este fato deve-se a natureza do seu solo, pois a extração deste material é feita através dos rios, onde o fluxo da água faz com que os grãos tenham movimentos circulares deixando-os mais arredondados. Esta característica faz com que haja uma menor área de contato entre os grãos.

Nas areias artificiais podemos observar um comportamento diferenciado do que das areias naturais. Este tipo de solo tem maior resistência conforme o aumento da densidade relativa, além de começar com uma resistência inicial alta, pois devida a natureza do seu solo ser de britagem faz com que os grãos sejam mais angulosos, possuindo uma área de contato maior aumento a resistência mecânica.

Com esta análise, pode-se determinar que as areias artificiais possuem maior resistência cisalhante comparadas às areias naturais, de maneira mais adequada aos projetos geotécnicos e de construção civil.

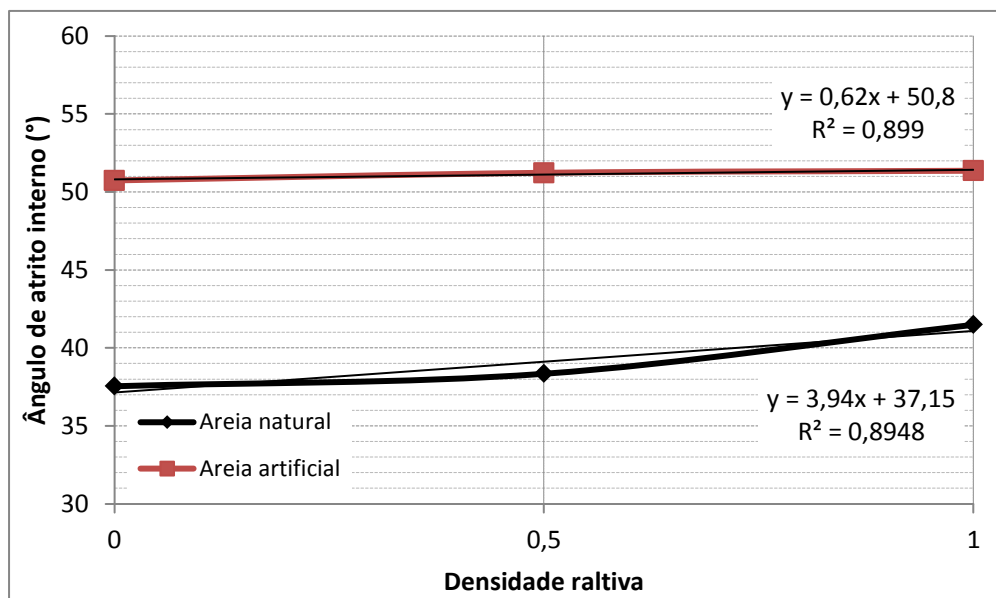


Figura 29: Análise ângulo de atrito interno x densidade relativa

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusão

Considerando o estudo realizado para o desenvolvimento desta pesquisa, cujo objetivo era determinar e quantificar quais das variáveis (densidade relativa e natureza) influenciam na resistência ao cisalhamento das areias naturais e areias artificiais, fazendo um comparativo entre estes dois tipos de solo, visando o seu emprego em aterros sanitário e pavimentação, algumas conclusões puderam ser traçadas.

A areia natural, de várzea, é aquela onde a sua fonte é natural e para a sua extração há uma agressão na calha natural dos rios, causando assim impactos ambientais e sendo uma atividade insustentável. Esta característica faz com que os grãos deste solo sejam arredondados, devido à movimentação do fluxo da água, ocasionando assim uma menor área de contato entre os grãos e acarretando um ângulo de atrito baixo. Desta forma, podemos concluir que a natureza da areia natural faz com que ela possua uma resistência mecânica inferior a da areia artificial.

Para a extração da areia artificial, ou pó-de-pedra, há uma fragmentação de blocos nos canteiros de pedreiras, este tipo de atividade não causa grandes danos ao meio-ambiente e faz com que os grãos destes solos sejam angulares, ocasionando assim uma maior área de contato entre eles, aumentando o ângulo de atrito interno e conseqüentemente a resistência mecânica deste solo. Estas conclusões puderam ser feitas através dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização realizados neste estudo. Desta forma, pode-se determinar que devido à natureza da areia artificial ela possui uma resistência ao cisalhamento maior do que a areia natural.

Com relação à densidade relativa aplicadas nos ensaios de cisalhamento direto podemos concluir que com o aumento desta há um acréscimo no ângulo de atrito interno, causando assim uma resistência ao cisalhamento maior, mesmo nos casos em que o intercepto coesivo foi menor.

No entanto, para as areias naturais há uma constante na sua resistência mecânica mesmo quando o deslocamento do solo tem uma dimensão maior, desta forma, podemos

concluir que para a extração deste material há danos ao meio ambiente, tem um custo maior em regiões em que sua fonte natural é distante e tem resistência mecânica menor do que a areia artificial.

Por outro lado, na areia artificial, há uma resistência inicial com valores altos e conforme a densidade relativa aplicada e deslocamentos maiores do solo, a sua resistência mecânica aumenta significativamente. Assim, podemos concluir que este solo é excelente para todos os tipos de obras, pois quanto maior o deslocamento do solo, maior a resistência mecânica do pó-de-pedra.

Portanto, para regiões que possuem areia artificial próxima, como é o caso deste estudo, é vantagem utilizá-las, pois são melhores para o uso na construção civil, tanto para grandes obras onde há pequenos deslocamentos de solo, como para construções maiores, onde o deslocamento do solo é maior, ou seja, este tipo de material é favorável para obras de geotécnicas (taludes, aterros, pavimentação, entre outras).

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

A seguir são apresentadas algumas sugestões para futuros trabalhos de pesquisa:

- Realizar ensaios triaxiais para obter um parâmetro de resistência e deformabilidade, em areias artificiais quando o formato do grão é diferente do encontrado na literatura;
- Realizar ensaios de placa em escala reduzida simulando uma fundação, nos casos em que o nível de deslocamento do solo é pequeno;
- Trabalhar com a granulometria, utilizando uma determinação (fina, média e grossa) de material por vez em cada ensaio de resistência ao cisalhamento comparando as suas resistências mecânicas através do ângulo de atrito interno;
- Determinar o índice de vazios crítico encontrando a estabilidade do ângulo de atrito interno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOKI, Jorge. Areia Natural ou Artificial?. **Cimento Itambé**. 13 mai. 2009. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/areia-natural-ou-artificial/>. Acesso em: 05 maio 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados para concreto – NBR 7211 EB 4**. Rio de Janeiro, maio de 1983.

_____. **Cimento Portland – Determinação da Resistência à Compressão**. NBR-7215. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.

_____. **Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm –Determinação da massa específica (Método de ensaio)**. NBR-6508. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **Rochas e solos: terminologia**. NBR-6502. Rio de Janeiro, 1995.

BAUER, Luis Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 471 p.

BERNARDI, J. **Caracterização de jazidas de solo residual de basalto visando seu emprego em barragens de terra**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí, 2006

BERNUCCI, L. et al. **Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS : ABEDA, 2006, 501 p.

BIANCHI, Alessandra da Costa. Pó-de-pedra. **Téchne**, São Paulo, ano 11, n. 79, p. 13, outubro 2003.

BUENO, Francisco da Silva. **Dicionário Escolar Da Língua Portuguesa**. 11ª edição. 3º tiragem, Rio de Janeiro: FENAME, 1980. 1264 p.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. 6ª edição, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S.A.,1988. v. 1. 234 p.

DAS, Braja M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. Tradução 6ª edição norte-americana, São Paulo: Thomson, 2007. 561 p.

GUIMARÃES. José Epitáfio Passos. **A cal – Fundamentos e Aplicações na Engenharia**. São Paulo: Pini, 1997

HACHICH, W. et al. **Fundações – teoria e prática**. 2ª edição, São Paulo: Pini. ABMS / ABEF, 2000. 751 p.

HEAD, K.H. **Manual of soil laboratory testing**. London: Pentech Press. 1981, 747 p.

IERVOLINO, Marcilene. **Materiais Agregados Minerais Para Construção Civil: Areia, Brita e Cascalho**. 11 fev. 2009. 7 f. Relatório (Curso Edificações) – Colégio CETÉS – Centro Educacional Técnico Suzanense, São Paulo, 2009.

KUCK, Denis Weiz. Areia artificial reduz impacto ambiental na construção civil. **Instituto Ciência Hoje**. 1 de mar. 2010. Disponível em: <[http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/tecnologia/areia-artificial-reduz-impacto-ambiental-de/?searchterm=areia artificial](http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/tecnologia/areia-artificial-reduz-impacto-ambiental-de/?searchterm=areia%20artificial)>. Acesso em: 04 maio. 2010

LEONARDS, G.A. **Foundation Engineering**. New York: McGraw-Hill Education, 1962. 1146 p.

MACHADO, Sandro Lemos,; MACHADO, Miriam de Fátima. **Mecânica dos solos II: conceitos básicos**. Bahia, 1997.

PAPAGIANNAKIS, A. T.; MASAD, E. A. **Pavament Desing and Materials**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008. 502 p.

PEREIRA, Alexandre Fernandes Rodrigues; ALMEIDA, Salvador Luis Matos. In: XII Jornada de Iniciação Científica do Centro de Tecnologia Mineral. 2004, Rio de Janeiro. **Obtenção de Areia Artificial da Pedreira Vigné**. Disponível em: http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_XII_jic_2004/01Artigo%20JIC%202004%200Alexandre%20e%20Salvador.pdf. Acesso em: 04 maio. 2010.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 2ª edição, São Paulo: Oficina de Textos, 2002, 355 p.

SALA, Mariana. **Caracterização do solo residual de basalto encontrado na zona urbana do Município de Ijuí visando seu emprego em estudos de fundações**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí, 2007.

SIMONS, Noel E.; MENZIES, Bruce K. **Introdução à Engenharia de Fundações**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1981. 199 p.

ANEXO I
Planilhas dos ensaios do Picnômetro

ENSAIO PICNÔMETRO - AREIA NATURAL		
MASSA ESPECÍFICA REAL		
Amostra:	A	C
PESOS (g)		
P1 (Picnômetro)	128,07	141,30
P2 (Picnômetro+Solo)	328,08	341,21
P3 (Picnômetro+Solo+Água)	741,44	773,77
P4 (Picnômetro+Água)	616,94	649,85
TEMPERATURA (°C)	25	25
γ_s1/γ_s2	2,65	2,63
Média (g/cm ³)	2,64	
Diferença:	0,018	
MASSA ESPECÍFICA REAL		
Amostra:	A	C
PESOS (g)		
P1 (Picnômetro)	128,07	141,30
P2 (Picnômetro+Solo)	328,08	341,21
P3 (Picnômetro+Solo+Água)	740,52	772,58
P4 (Picnômetro+Água)	615,76	647,45
TEMPERATURA (°C)	35	35
ME1/ME2	2,66	2,67
Média (g/cm ³)	2,66	
Diferença:	0,015	
MASSA ESPECÍFICA REAL		
Amostra:	A	C
PESOS (g)		
P1 (Picnômetro)	128,07	141,30
P2 (Picnômetro+Solo)	328,08	341,21
P3 (Picnômetro+Solo+Água)	739,35	770,70
P4 (Picnômetro+Água)	613,93	646,34
TEMPERATURA (°C)	45	45
γ_s1/γ_s2	2,68	2,65
Média (g/cm ³)	2,66	
Diferença:	0,035	
MASSA ESPECÍFICA REAL		
Amostra:	A	C
PESOS (g)		
P1 (Picnômetro)	128,07	141,30
P2 (Picnômetro+Solo)	328,08	341,21
P3 (Picnômetro+Solo+Água)	735,69	769,10
P4 (Picnômetro+Água)	611,54	643,91
TEMPERATURA (°C)	55	55
γ_s1/γ_s2	2,64	2,68
Média (g/cm ³)	2,66	
Diferença:	0,039	
* Foi utilizado 200g de material para cada amostra		

Resistência ao cisalhamento nas areias: efeito da natureza do grão e da compactidade.

ENSAIO PICNÔMETRO - AREIA ARTIFICIAL		
MASSA ESPECÍFICA REAL		
Amostra:	A	C
PESOS (g)		
P1 (Picnômetro)	128,07	141,30
P2 (Picnômetro+Solo)	327,98	341,26
P3 (Picnômetro+Solo+Água)	749,39	783,49
P4 (Picnômetro+Água)	616,94	649,85
TEMPERATURA (°C)	25	25
γ_s1/γ_s2	2,96	3,02
Média (g/cm ³)	2,99	
Diferença:	0,053	
MASSA ESPECÍFICA REAL		
Amostra:	A	C
PESOS (g)		
P1 (Picnômetro)	128,07	141,30
P2 (Picnômetro+Solo)	327,98	341,26
P3 (Picnômetro+Solo+Água)	747,46	781,99
P4 (Picnômetro+Água)	615,76	647,45
TEMPERATURA (°C)	35	35
γ_s1/γ_s2	2,93	3,06
Média (g/cm ³)	2,99	
Diferença:	0,126	
MASSA ESPECÍFICA REAL		
Amostra:	A	C
PESOS (g)		
P1 (Picnômetro)	128,07	141,30
P2 (Picnômetro+Solo)	327,98	341,26
P3 (Picnômetro+Solo+Água)	746,48	780,07
P4 (Picnômetro+Água)	613,93	646,34
TEMPERATURA (°C)	45	45
γ_s1/γ_s2	2,97	3,02
Média (g/cm ³)	2,99	
Diferença:	0,051	
MASSA ESPECÍFICA REAL		
Amostra:	A	C
PESOS (g)		
P1 (Picnômetro)	128,07	141,30
P2 (Picnômetro+Solo)	327,98	341,26
P3 (Picnômetro+Solo+Água)	744,37	777,60
P4 (Picnômetro+Água)	611,54	643,91
TEMPERATURA (°C)	55	55
γ_s1/γ_s2	2,98	3,02
Média (g/cm ³)	3	
Diferença:	0,037	
* Foi utilizado 200g de material para cada amostra		

ANEXO II

Planilhas dos ensaios de cisalhamento direto

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJUÍ/RS							
Local:	Ijuí	Amostra:	Areia natural fofa 1				
Data:	15/09/10					h _{ot} (%):	0,00
Carga normal (kgf):	0,65					Pressão vertical (kPa):	30,00
Volume (cm ³):	50,24					Peso da amostra (g):	86,68
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ _d (kN/m ³):	17,30
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ _n (kN/m ³):	17,30
						γ _{d máx} (kN/m ³):	17,30
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:							
		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		57	57				
Peso da cápsula (g):		30,99	30,99				
Cáp. + solo úmido (g):		0	134,4				
Cáp. + solo seco (g):		127,36	120,5				
Teor de umidade médio (%):		0,00					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm ²)	Tensão (kPa)
11	3,50	0,20	0	0,00		25,5025	0,00
11,2	3,50	0,34	0,2	0,00	4,70904	25,4015	18,54
11,4	3,50	0,4	0,4	0,00	6,0591	25,3005	23,95
11,6	3,50	0,43	0,6	0,00	6,73413	25,1995	26,72
11,8	3,50	0,44	0,8	0,00	6,95914	25,0985	27,73
12	3,50	0,45	1	0,00	7,18415	24,9975	28,74
12,2	3,51	0,46	1,2	0,01	7,40916	24,8965	29,76
12,4	3,51	0,46	1,4	0,01	7,40916	24,7955	29,88
12,6	3,57	0,46	1,6	0,06	7,40916	24,6945	30,00
12,8	3,59	0,46	1,8	0,09	7,40916	24,5935	30,13
13	3,59	0,45	2	0,09	7,18415	24,4925	29,33
13,2	3,59	0,45	2,2	0,09	7,18415	24,3915	29,45
13,4	3,62	0,45	2,4	0,12	7,18415	24,2905	29,58
13,6	3,62	0,44	2,6	0,12	6,95914	24,1895	28,77
13,8	3,62	0,42	2,8	0,12	6,50912	24,0885	27,02
14	3,62	0,45	3	0,12	7,18415	23,9875	29,95
14,2	3,64	0,45	3,2	0,14	7,18415	23,8865	30,08
14,4	3,64	0,42	3,4	0,14	6,50912	23,7855	27,37
14,6	3,64	0,45	3,6	0,14	7,18415	23,6845	30,33
14,8	3,64	0,44	3,8	0,14	6,95914	23,5835	29,51
15	3,64	0,44	4	0,14	6,95914	23,4825	29,64
15,2	3,64	0,43	4,2	0,14	6,73413	23,3815	28,80
15,4	3,64	0,46	4,4	0,14	7,40916	23,2805	31,83
15,6	3,64	0,46	4,6	0,14	7,40916	23,1795	31,96
15,8	3,64	0,43	4,8	0,14	6,73413	23,0785	29,18
16	3,64	0,44	5	0,14	6,95914	22,9775	30,29
16,2	3,64	0,44	5,2	0,14	6,95914	22,8765	30,42
16,4	3,64	0,43	5,4	0,14	6,73413	22,7755	29,57
16,6	3,64	0,42	5,6	0,14	6,50912	22,6745	28,71
16,8	3,66	0,42	5,8	0,16	6,50912	22,5735	28,84
17	3,66	0,43	6	0,16	6,73413	22,4725	29,97
17,2	3,66	0,44	6,2	0,16	6,95914	22,3715	31,11
17,4	3,66	0,43	6,4	0,16	6,73413	22,2705	30,24
17,6	3,66	0,43	6,6	0,16	6,73413	22,1695	30,38
17,8	3,66	0,41	6,8	0,16	6,28411	22,0685	28,48
18	3,66	0,4	7	0,16	6,0591	21,9675	27,58
18,2	3,66	0,41	7,2	0,16	6,28411	21,8665	28,74
18,4	3,66	0,41	7,4	0,16	6,28411	21,7655	28,87
18,6	3,66	0,43	7,6	0,16	6,73413	21,6645	31,08
18,8	3,66	0,4	7,8	0,16	6,0591	21,5635	28,10
19	3,64	0,4	8	0,14	6,0591	21,4625	28,23
19,2	3,65	0,41	8,2	0,15	6,28411	21,3615	29,42
19,4	3,62	0,43	8,4	0,12	6,73413	21,2605	31,67
19,6	3,62	0,43	8,6	0,12	6,73413	21,1595	31,83
19,8	3,61	0,43	8,8	0,11	6,73413	21,0585	31,98
20	3,60	0,44	9	0,10	6,95914	20,9575	33,21
20,2	3,59	0,41	9,2	0,09	6,28411	20,8565	30,13
20,4	3,58	0,41	9,4	0,08	6,28411	20,7555	30,28
20,6	3,57	0,41	9,6	0,07	6,28411	20,6545	30,42
20,8	3,57	0,41	9,8	0,06	6,28411	20,5535	30,57
21	3,56	0,41	10	0,06	6,28411	20,4525	30,73

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIÚÍ/RS							
Local:	Ijuí	Amostra:	Areia natural fofa 2				
Data:	22/09/10					h ot (%):	0,00
Carga normal (kgf):	8,30					Pressão vertical (kPa):	60,00
Volume (cm³):	50,24					Peso da amostra (g):	86,68
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ_d (kN/m³):	17,30
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ_n (kN/m³):	17,30
						$\gamma_{d_{max}}$ (kN/m³):	17,30
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		53	53				
Peso da cápsula (g):		30,88	30,88				
Cáp. + solo úmido (g):		0	124,91				
Cáp. + solo seco (g):		117,63	111,52				
Teor de umidade médio (%):		0,00					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm²)	Tensão (kPa)
11	2,50	0,39	0	0,00		25,5025	0,00
11,2	2,50	0,51	0,2	0,00	8,53421	25,4015	33,60
11,4	2,50	0,55	0,4	0,00	9,43425	25,3005	37,29
11,6	2,50	0,58	0,6	0,00	10,10928	25,1995	40,12
11,8	2,50	0,63	0,8	0,00	11,23433	25,0985	44,76
12	2,50	0,65	1	0,00	11,68435	24,9975	46,74
12,2	2,50	0,68	1,2	0,00	12,35938	24,8965	49,64
12,4	2,50	0,69	1,4	0,00	12,58439	24,7955	50,75
12,6	2,50	0,69	1,6	0,00	12,58439	24,6945	50,96
12,8	2,50	0,71	1,8	0,00	13,03441	24,5935	53,00
13	2,50	0,73	2	0,00	13,48443	24,4925	55,06
13,2	2,51	0,73	2,2	0,01	13,48443	24,3915	55,28
13,4	2,52	0,72	2,4	0,02	13,25942	24,2905	54,59
13,6	2,54	0,73	2,6	0,04	13,48443	24,1895	55,74
13,8	2,55	0,71	2,8	0,04	13,03441	24,0885	54,11
14	2,55	0,70	3	0,05	12,8094	23,9875	53,40
14,2	2,56	0,69	3,2	0,06	12,58439	23,8865	52,68
14,4	2,56	0,69	3,4	0,06	12,58439	23,7855	52,91
14,6	2,58	0,69	3,6	0,08	12,58439	23,6845	53,13
14,8	2,58	0,69	3,8	0,08	12,58439	23,5835	53,36
15	2,58	0,65	4	0,08	11,68435	23,4825	49,76
15,2	2,58	0,64	4,2	0,08	11,45934	23,3815	49,01
15,4	2,58	0,66	4,4	0,08	11,90936	23,2805	51,16
15,6	2,58	0,64	4,6	0,08	11,45934	23,1795	49,44
15,8	2,58	0,65	4,8	0,08	11,68435	23,0785	50,63
16	2,58	0,67	5	0,08	12,13437	22,9775	52,81
16,2	2,58	0,65	5,2	0,08	11,68435	22,8765	51,08
16,4	2,58	0,67	5,4	0,08	12,13437	22,7755	53,28
16,6	2,58	0,66	5,6	0,08	11,90936	22,6745	52,52
16,8	2,58	0,65	5,8	0,08	11,68435	22,5735	51,76
17	2,59	0,67	6	0,09	12,13437	22,4725	54,00
17,2	2,59	0,67	6,2	0,09	12,13437	22,3715	54,24
17,4	2,59	0,68	6,4	0,09	12,35938	22,2705	55,50
17,6	2,59	0,67	6,6	0,09	12,13437	22,1695	54,73
17,8	2,59	0,65	6,8	0,09	11,68435	22,0685	52,95
18	2,59	0,63	7	0,09	11,23433	21,9675	51,14
18,2	2,59	0,64	7,2	0,09	11,45934	21,8665	52,41
18,4	2,59	0,64	7,4	0,09	11,45934	21,7655	52,65
18,6	2,59	0,64	7,6	0,09	11,45934	21,6645	52,89
18,8	2,58	0,64	7,8	0,08	11,45934	21,5635	53,14
19	2,58	0,64	8	0,08	11,45934	21,4625	53,39
19,2	2,58	0,63	8,2	0,08	11,23433	21,3615	52,59
19,4	2,58	0,63	8,4	0,08	11,23433	21,2605	52,84
19,6	2,58	0,64	8,6	0,08	11,45934	21,1595	54,16
19,8	2,57	0,63	8,8	0,07	11,23433	21,0585	53,35
20	2,57	0,65	9	0,07	11,68435	20,9575	55,75
20,2	2,57	0,65	9,2	0,07	11,68435	20,8565	56,02
20,4	2,57	0,63	9,4	0,06	11,23433	20,7555	54,13
20,6	2,57	0,67	9,6	0,06	12,13437	20,6545	58,75
20,8	2,56	0,65	9,8	0,06	11,68435	20,5535	56,85
21	2,56	0,66	10	0,06	11,90936	20,4525	58,23

Resistência ao cisalhamento nas areias: efeito da natureza do grão e da compactidade.

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO			
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJIÚ/RS			
Local:	Ijuí	Amostra:	Areia natural fofa 3
Data:	22/09/10		h ot (%): 0,00
Carga normal (kgf):	18,50		Pressão vertical (kPa): 100,00
Volume (cm³):	50,24		Peso da amostra (g): 86,68
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09		γ_d (kN/m³): 17,30
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05		γ_n (kN/m³): 17,30
			$\gamma_{d_{max}}$ (kN/m³): 17,30
			GC(%): 100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()

Determinação da umidade:	ANTES	DEPOIS
Nº da cápsula:	60	60
Peso da cápsula (g):	45,69	45,69
Cáp. + solo úmido (g):	0	148,57
Cáp. + solo seco (g):	141,04	136,85
Teor de umidade médio (%):	0,00	

Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm²)	Tensão (kPa)
11	3,50	0,10	0	0,00		25,5025	0,00
11,2	3,49	0,40	0,2	-0,01	6,05910	25,4015	23,85
11,4	3,46	0,58	0,4	-0,04	10,10928	25,3005	39,96
11,6	3,45	0,67	0,6	-0,05	12,13437	25,1995	48,15
11,8	3,44	0,73	0,8	-0,06	13,48443	25,0985	53,73
12	3,44	0,81	1	-0,06	15,28451	24,9975	61,14
12,2	3,43	0,88	1,2	-0,07	16,85958	24,8965	67,72
12,4	3,43	0,93	1,4	-0,07	17,98463	24,7955	72,53
12,6	3,43	0,98	1,6	-0,07	19,10968	24,6945	77,38
12,8	3,43	1,01	1,8	-0,07	19,78471	24,5935	80,45
13	3,43	1,03	2	-0,07	20,23473	24,4925	82,62
13,2	3,43	1,05	2,2	-0,07	20,68475	24,3915	84,80
13,4	3,44	1,05	2,4	-0,06	20,68475	24,2905	85,16
13,6	3,44	1,06	2,6	-0,06	20,90976	24,1895	86,44
13,8	3,45	1,05	2,8	-0,06	20,68475	24,0885	85,87
14	3,45	1,04	3	-0,05	20,45974	23,9875	85,29
14,2	3,47	1,02	3,2	-0,04	20,00972	23,8865	83,77
14,4	3,47	1,00	3,4	-0,04	19,55970	23,7855	82,23
14,6	3,47	1,00	3,6	-0,03	19,55970	23,6845	82,58
14,8	3,47	1,00	3,8	-0,03	19,55970	23,5835	82,94
15	3,47	0,92	4	-0,04	17,75962	23,4825	75,63
15,2	3,47	0,97	4,2	-0,04	18,88467	23,3815	80,77
15,4	3,47	0,99	4,4	-0,03	19,33469	23,2805	83,05
15,6	3,47	0,99	4,6	-0,03	19,33469	23,1795	83,41
15,8	3,47	0,99	4,8	-0,03	19,33469	23,0785	83,78
16	3,47	1,01	5	-0,03	19,78471	22,9775	86,10
16,2	3,47	0,99	5,2	-0,03	19,33469	22,8765	84,52
16,4	3,47	1,00	5,4	-0,03	19,55970	22,7755	85,88
16,6	3,47	0,99	5,6	-0,03	19,33469	22,6745	85,27
16,8	3,47	0,98	5,8	-0,03	19,10968	22,5735	84,66
17	3,47	0,99	6	-0,03	19,33469	22,4725	86,04
17,2	3,47	0,99	6,2	-0,03	19,33469	22,3715	86,43
17,4	3,47	1,00	6,4	-0,03	19,55970	22,2705	87,83
17,6	3,47	1,01	6,6	-0,04	19,78471	22,1695	89,24
17,8	3,46	1,00	6,8	-0,04	19,55970	22,0685	88,63
18	3,45	0,99	7	-0,05	19,33469	21,9675	88,01
18,2	3,45	1,01	7,2	-0,05	19,78471	21,8665	90,48
18,4	3,45	1,00	7,4	-0,05	19,55970	21,7655	89,87
18,6	3,45	0,98	7,6	-0,06	19,10968	21,6645	88,21
18,8	3,44	1,00	7,8	-0,06	19,55970	21,5635	90,71
19	3,44	0,99	8	-0,06	19,33469	21,4625	90,09
19,2	3,43	1,00	8,2	-0,07	19,55970	21,3615	91,57
19,4	3,42	0,97	8,4	-0,09	18,88467	21,2605	88,83
19,6	3,41	1,00	8,6	-0,09	19,55970	21,1595	92,44
19,8	3,40	0,98	8,8	-0,10	19,10968	21,0585	90,75
20	3,39	0,98	9	-0,11	19,10968	20,9575	91,18
20,2	3,39	0,98	9,2	-0,11	19,10968	20,8565	91,62
20,4	3,38	0,96	9,4	-0,13	18,65966	20,7555	89,90
20,6	3,37	0,98	9,6	-0,13	19,10968	20,6545	92,52
20,8	3,35	0,96	9,8	-0,15	18,65966	20,5535	90,79
21	3,34	0,99	10	-0,16	19,33469	20,4525	94,53

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIÚÍ/RS							
Local:	Ijuí	Amostra:	Areia natural fofa 4				
Data:	29/09/10					h _{ot} (%):	0,00
Carga normal (kgf):	44,00					Pressão vertical (kPa):	200,00
Volume (cm ³):	50,24					Peso da amostra (g):	86,68
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ _d (kN/m ³):	17,30
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ _n (kN/m ³):	17,30
						γ _{dmax} (kN/m ³):	17,30
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		58	58				
Peso da cápsula (g):		44,53	44,53				
Cáp. + solo úmido (g):		0	148,05				
Cáp. + solo seco (g):		141,06	135,51				
Teor de umidade médio (%):		0,00					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm ²)	Tensão (kPa)
12	4,00	0,47	0	0,00		25,5025	0,00
12,2	4,00	0,93	0,2	0,00	17,98463	25,4015	70,80
12,4	3,99	1,20	0,4	-0,02	24,05990	25,3005	95,10
12,6	3,98	1,45	0,6	-0,02	29,68515	25,1995	117,80
12,8	3,97	1,63	0,8	-0,03	33,73533	25,0985	134,41
13	3,97	1,81	1	-0,03	37,78551	24,9975	151,16
13,2	3,97	1,89	1,2	-0,03	39,58559	24,8965	159,00
13,4	3,98	1,91	1,4	-0,02	40,03561	24,7955	161,46
13,6	4,00	1,90	1,6	0,00	39,81060	24,6945	161,21
13,8	4,00	1,88	1,8	0,00	39,36058	24,5935	160,04
14	4,01	1,90	2	0,01	39,81060	24,4925	162,54
14,2	4,03	1,90	2,2	0,03	39,81060	24,3915	163,22
14,4	4,03	1,94	2,4	0,03	40,71064	24,2905	167,60
14,6	4,04	1,92	2,6	0,04	40,26062	24,1895	166,44
14,8	4,04	1,90	2,8	0,04	39,81060	24,0885	165,27
15	4,05	1,90	3	0,04	39,81060	23,9875	165,96
15,2	4,05	1,82	3,2	0,05	38,01052	23,8865	159,13
15,4	4,06	1,78	3,4	0,05	37,11048	23,7855	156,02
15,6	4,06	1,71	3,6	0,05	35,53541	23,6845	150,04
15,8	4,06	1,68	3,8	0,05	34,86038	23,5835	147,82
16	4,06	1,68	4	0,05	34,86038	23,4825	148,45
16,2	4,06	1,67	4,2	0,06	34,63537	23,3815	148,13
16,4	4,06	1,68	4,4	0,06	34,86038	23,2805	149,74
16,6	4,06	1,69	4,6	0,05	35,08539	23,1795	151,36
16,8	4,06	1,71	4,8	0,05	35,53541	23,0785	153,98
17	4,06	1,71	5	0,05	35,53541	22,9775	154,65
17,2	4,06	1,66	5,2	0,05	34,41036	22,8765	150,42
17,4	4,06	1,71	5,4	0,05	35,53541	22,7755	156,02
17,6	4,05	1,69	5,6	0,05	35,08539	22,6745	154,74
17,8	4,05	1,64	5,8	0,05	33,96034	22,5735	150,44
18	4,05	1,67	6	0,05	34,63537	22,4725	154,12
18,2	4,05	1,65	6,2	0,04	34,18535	22,3715	152,81
18,4	4,04	1,67	6,4	0,04	34,63537	22,2705	155,52
18,6	4,04	1,64	6,6	0,04	33,96034	22,1695	153,18
18,8	4,03	1,64	6,8	0,03	33,96034	22,0685	153,89
19	4,04	1,69	7	0,04	35,08539	21,9675	159,71
19,2	4,03	1,66	7,2	0,03	34,41036	21,8665	157,37
19,4	4,03	1,61	7,4	0,03	33,28531	21,7655	152,93
19,6	4,03	1,64	7,6	0,03	33,96034	21,6645	156,76
19,8	4,03	1,60	7,8	0,03	33,06030	21,5635	153,32
20	4,01	1,62	8	0,01	33,51032	21,4625	156,13
20,2	4,01	1,61	8,2	0,01	33,28531	21,3615	155,82
20,4	4,01	1,61	8,4	0,00	33,28531	21,2605	156,56
20,6	4,00	1,63	8,6	0,00	33,73533	21,1595	159,43
20,8	3,99	1,60	8,8	-0,01	33,06030	21,0585	156,99
21	3,99	1,57	9	-0,01	32,38527	20,9575	154,53
21,2	3,99	1,55	9,2	-0,01	31,93525	20,8565	153,12
21,4	3,98	1,50	9,4	-0,02	30,81020	20,7555	148,44
21,6	3,98	1,50	9,6	-0,02	30,81020	20,6545	149,17
21,8	3,98	1,53	9,8	-0,02	31,48523	20,5535	153,19
22	3,97	1,51	10	-0,03	31,03521	20,4525	151,74

Resistência ao cisalhamento nas areias: efeito da natureza do grão e da compactidade.

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJUÍ/RS							
Local:	Ijuí	Amostra:	Areia natural med. compacta 1				
Data:	29/09/10					h ot (%):	10,00
Carga normal (kgf):	0,65					Pressão vertical (kPa):	30,00
Volume (cm³):	50,24					Peso da amostra (g):	96,6
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ_d (kN/m³):	17,50
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ_n (kN/m³):	19,20
						$\gamma_{d_{\max}}$ (kN/m³):	17,50
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		57	57				
Peso da cápsula (g):		30,97	30,97				
Cáp. + solo úmido (g):		143,63	139,74				
Cáp. + solo seco (g):		133,3	127,67				
Teor de umidade médio (%):		11,29					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm²)	Tensão (kPa)
11	5,00	0,28	0	0,00		25,5025	0,00
11,2	5,00	0,42	0,2	0,00	6,50912	25,4015	25,62
11,4	5,00	0,45	0,4	0,00	7,18415	25,3005	28,40
11,6	5,01	0,47	0,6	0,01	7,63417	25,1995	30,29
11,8	5,02	0,49	0,8	0,01	8,08419	25,0985	32,21
12	5,04	0,49	1	0,04	8,08419	24,9975	32,34
12,2	5,05	0,48	1,2	0,05	7,85918	24,8965	31,57
12,4	5,08	0,47	1,4	0,08	7,63417	24,7955	30,79
12,6	5,11	0,45	1,6	0,11	7,18415	24,6945	29,09
12,8	5,13	0,47	1,8	0,13	7,63417	24,5935	31,04
13	5,15	0,46	2	0,15	7,40916	24,4925	30,25
13,2	5,17	0,45	2,2	0,17	7,18415	24,3915	29,45
13,4	5,19	0,45	2,4	0,19	7,18415	24,2905	29,58
13,6	5,20	0,45	2,6	0,20	7,18415	24,1895	29,70
13,8	5,20	0,43	2,8	0,20	6,73413	24,0885	27,96
14	5,22	0,43	3	0,22	6,73413	23,9875	28,07
14,2	5,22	0,42	3,2	0,22	6,50912	23,8865	27,25
14,4	5,23	0,43	3,4	0,23	6,73413	23,7855	28,31
14,6	5,24	0,41	3,6	0,24	6,28411	23,6845	26,53
14,8	5,24	0,41	3,8	0,24	6,28411	23,5835	26,65
15	5,24	0,41	4	0,24	6,28411	23,4825	26,76
15,2	5,24	0,4	4,2	0,24	6,0591	23,3815	25,91
15,4	5,25	0,4	4,4	0,25	6,0591	23,2805	26,03
15,6	5,25	0,42	4,6	0,25	6,50912	23,1795	28,08
15,8	5,25	0,42	4,8	0,25	6,50912	23,0785	28,20
16	5,25	0,41	5	0,25	6,28411	22,9775	27,35
16,2	5,23	0,41	5,2	0,23	6,28411	22,8765	27,47
16,4	5,23	0,41	5,4	0,23	6,28411	22,7755	27,59
16,6	5,23	0,41	5,6	0,23	6,28411	22,6745	27,71
16,8	5,23	0,43	5,8	0,23	6,73413	22,5735	29,83
17	5,23	0,41	6	0,23	6,28411	22,4725	27,96
17,2	5,23	0,41	6,2	0,23	6,28411	22,3715	28,09
17,4	5,24	0,44	6,4	0,24	6,95914	22,2705	31,25
17,6	5,22	0,44	6,6	0,22	6,95914	22,1695	31,39
17,8	5,21	0,42	6,8	0,21	6,50912	22,0685	29,50
18	5,22	0,42	7	0,22	6,50912	21,9675	29,63
18,2	5,21	0,41	7,2	0,21	6,28411	21,8665	28,74
18,4	5,21	0,41	7,4	0,21	6,28411	21,7655	28,87
18,6	5,21	0,41	7,6	0,21	6,28411	21,6645	29,01
18,8	5,21	0,41	7,8	0,21	6,28411	21,5635	29,14
19	5,21	0,41	8	0,21	6,28411	21,4625	29,28
19,2	5,21	0,4	8,2	0,21	6,0591	21,3615	28,36
19,4	5,21	0,41	8,4	0,21	6,28411	21,2605	29,56
19,6	5,21	0,42	8,6	0,21	6,50912	21,1595	30,76
19,8	5,21	0,43	8,8	0,21	6,73413	21,0585	31,98
20	5,21	0,41	9	0,21	6,28411	20,9575	29,99
20,2	5,21	0,41	9,2	0,21	6,28411	20,8565	30,13
20,4	5,19	0,41	9,4	0,19	6,28411	20,7555	30,28
20,6	5,17	0,4	9,6	0,17	6,0591	20,6545	29,34
20,8	5,17	0,41	9,8	0,17	6,28411	20,5535	30,57
21	5,17	0,42	10	0,17	6,50912	20,4525	31,83

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIÚÍ/RS							
Local:	Ijuí	Amostra:	Areia natural med. compacta 2				
Data:	30/09/10					h ot (%)	10,00
Carga normal (kgf):	8,30					Pressão vertical (kPa)	60,00
Volume (cm³):	50,24					Peso da amostra (g)	96,6
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ_d (kN/m³)	17,50
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ_n (kN/m³)	19,20
						$\gamma_{d_{max}}$ (kN/m³)	17,50
						GC(%)	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		51	51				
Peso da cápsula (g):		31,24	31,24				
Cáp. + solo úmido (g):		143,62	138,74				
Cáp. + solo seco (g):		133,47	126,44				
Teor de umidade médio (%):		11,42					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm²)	Tensão (kPa)
11	4,00	0,35	0	0,00		25,5025	0,00
11,2	4,00	0,51	0,2	0,00	8,53421	25,4015	33,60
11,4	4,00	0,56	0,4	0,00	9,65926	25,3005	38,18
11,6	4,00	0,57	0,6	0,00	9,88427	25,1995	39,22
11,8	4,00	0,57	0,8	0,00	9,88427	25,0985	39,38
12	4,00	0,56	1	0,00	9,65926	24,9975	38,64
12,2	4,00	0,58	1,2	0,00	10,10928	24,8965	40,61
12,4	4,00	0,57	1,4	0,00	9,88427	24,7955	39,86
12,6	4,00	0,57	1,6	0,00	9,88427	24,6945	40,03
12,8	4,00	0,56	1,8	0,00	9,65926	24,5935	39,28
13	4,00	0,58	2	0,00	10,10928	24,4925	41,28
13,2	4,00	0,58	2,2	0,00	10,10928	24,3915	41,45
13,4	4,00	0,58	2,4	0,00	10,10928	24,2905	41,62
13,6	4,00	0,58	2,6	0,00	10,10928	24,1895	41,79
13,8	4,00	0,56	2,8	0,00	9,65926	24,0885	40,10
14	4,00	0,55	3	0,00	9,43425	23,9875	39,33
14,2	4,00	0,56	3,2	0,00	9,65926	23,8865	40,44
14,4	4,00	0,55	3,4	0,00	9,43425	23,7855	39,66
14,6	4,00	0,55	3,6	0,00	9,43425	23,6845	39,83
14,8	4,00	0,57	3,8	0,00	9,88427	23,5835	41,91
15	4,00	0,55	4	0,00	9,43425	23,4825	40,18
15,2	4,00	0,54	4,2	0,00	9,20924	23,3815	39,39
15,4	4,00	0,57	4,4	0,00	9,88427	23,2805	42,46
15,6	4,00	0,57	4,6	0,00	9,88427	23,1795	42,64
15,8	4,00	0,57	4,8	0,00	9,88427	23,0785	42,83
16	4,00	0,55	5	0,00	9,43425	22,9775	41,06
16,2	4,00	0,56	5,2	0,00	9,65926	22,8765	42,22
16,4	4,00	0,56	5,4	0,00	9,65926	22,7755	42,41
16,6	4,00	0,55	5,6	0,00	9,43425	22,6745	41,61
16,8	4,00	0,58	5,8	0,00	10,10928	22,5735	44,78
17	4,00	0,54	6	0,00	9,20924	22,4725	40,98
17,2	4,00	0,55	6,2	0,00	9,43425	22,3715	42,17
17,4	4,00	0,54	6,4	0,00	9,20924	22,2705	41,35
17,6	4,00	0,54	6,6	0,00	9,20924	22,1695	41,54
17,8	4,00	0,56	6,8	0,00	9,65926	22,0685	43,77
18	4,00	0,55	7	0,00	9,43425	21,9675	42,95
18,2	4,00	0,54	7,2	0,00	9,20924	21,8665	42,12
18,4	3,99	0,57	7,4	-0,01	9,88427	21,7655	45,41
18,6	3,99	0,53	7,6	-0,02	8,98423	21,6645	41,47
18,8	3,98	0,53	7,8	-0,02	8,98423	21,5635	41,66
19	3,98	0,52	8	-0,02	8,75922	21,4625	40,81
19,2	3,99	0,53	8,2	-0,01	8,98423	21,3615	42,06
19,4	3,99	0,55	8,4	-0,02	9,43425	21,2605	44,37
19,6	3,99	0,54	8,6	-0,02	9,20924	21,1595	43,52
19,8	3,98	0,55	8,8	-0,02	9,43425	21,0585	44,80
20	3,97	0,54	9	-0,03	9,20924	20,9575	43,94
20,2	3,97	0,53	9,2	-0,04	8,98423	20,8565	43,08
20,4	3,97	0,53	9,4	-0,04	8,98423	20,7555	43,29
20,6	3,96	0,55	9,6	-0,04	9,43425	20,6545	45,68
20,8	3,95	0,53	9,8	-0,05	8,98423	20,5535	43,71
21	3,95	0,55	10	-0,05	9,43425	20,4525	46,13

Resistência ao cisalhamento nas areias: efeito da natureza do grão e da compactidade.

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO			
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJIÚ/RS			
Local:	Ijuí	Amostra:	Areia natural med. compacta 3
Data:	11/10/10		h ot (%): 10,00
Carga normal (kgf):	18,50		Pressão vertical (kPa): 100,00
Volume (cm³):	50,24		Peso da amostra (g): 96,6
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09		γ_d (kN/m³): 17,50
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05		γ_n (kN/m³): 19,20
			$\gamma_{d_{max}}$ (kN/m³): 17,50
			GC(%): 100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()

Determinação da umidade:	ANTES	DEPOIS
Nº da cápsula:	56 (tamp 52)	
Peso da cápsula (g):	31,29	31,29
Cáp. + solo úmido (g):	143,69	139,49
Cáp. + solo seco (g):	133,37	127,16
Teor de umidade médio (%):	11,49	

Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm²)	Tensão (kPa)
11	7,00	0,51	0	0,00		25,5025	0,00
11,2	7,00	0,61	0,2	0,00	10,78431	25,4015	42,46
11,4	7,00	0,94	0,4	0,00	18,20964	25,3005	71,97
11,6	7,00	1,02	0,6	0,00	20,00972	25,1995	79,41
11,8	7,03	1,05	0,8	0,03	20,68475	25,0985	82,41
12	7,04	1,05	1	0,04	20,68475	24,9975	82,75
12,2	7,05	1,05	1,2	0,05	20,68475	24,8965	83,08
12,4	7,07	1,05	1,4	0,07	20,68475	24,7955	83,42
12,6	7,08	1,04	1,6	0,08	20,45974	24,6945	82,85
12,8	7,09	1,01	1,8	0,09	19,78471	24,5935	80,45
13	7,10	1,05	2	0,09	20,68475	24,4925	84,45
13,2	7,10	1,02	2,2	0,10	20,00972	24,3915	82,04
13,4	7,11	1,05	2,4	0,11	20,68475	24,2905	85,16
13,6	7,11	1,05	2,6	0,11	20,68475	24,1895	85,51
13,8	7,12	1,02	2,8	0,12	20,00972	24,0885	83,07
14	7,13	1,02	3	0,13	20,00972	23,9875	83,42
14,2	7,14	1,02	3,2	0,14	20,00972	23,8865	83,77
14,4	7,14	1,04	3,4	0,14	20,45974	23,7855	86,02
14,6	7,14	1,02	3,6	0,14	20,00972	23,6845	84,48
14,8	7,15	1,01	3,8	0,15	19,78471	23,5835	83,89
15	7,15	1,01	4	0,15	19,78471	23,4825	84,25
15,2	7,15	1,03	4,2	0,15	20,23473	23,3815	86,54
15,4	7,15	1,04	4,4	0,15	20,45974	23,2805	87,88
15,6	7,14	0,98	4,6	0,14	19,10968	23,1795	82,44
15,8	7,14	0,98	4,8	0,14	19,10968	23,0785	82,80
16	7,14	1,01	5	0,14	19,78471	22,9775	86,10
16,2	7,14	1,02	5,2	0,14	20,00972	22,8765	87,47
16,4	7,14	1,01	5,4	0,14	19,78471	22,7755	86,87
16,6	7,13	0,99	5,6	0,13	19,33469	22,6745	85,27
16,8	7,13	1,01	5,8	0,13	19,78471	22,5735	87,65
17	7,12	1,04	6	0,12	20,45974	22,4725	91,04
17,2	7,11	1,05	6,2	0,11	20,68475	22,3715	92,46
17,4	7,11	1,06	6,4	0,11	20,90976	22,2705	93,89
17,6	7,11	1,06	6,6	0,11	20,90976	22,1695	94,32
17,8	7,12	1,06	6,8	0,12	20,90976	22,0685	94,75
18	7,10	1,07	7	0,09	21,13477	21,9675	96,21
18,2	7,09	1,05	7,2	0,09	20,68475	21,8665	94,60
18,4	7,08	1,04	7,4	0,08	20,45974	21,7655	94,00
18,6	7,07	1,08	7,6	0,07	21,35978	21,6645	98,59
18,8	7,06	1,05	7,8	0,06	20,68475	21,5635	95,92
19	7,07	1,04	8	0,07	20,45974	21,4625	95,33
19,2	7,05	1,04	8,2	0,04	20,45974	21,3615	95,78
19,4	7,04	1,06	8,4	0,04	20,90976	21,2605	98,35
19,6	7,03	1,08	8,6	0,03	21,35978	21,1595	100,95
19,8	7,02	1,04	8,8	0,02	20,45974	21,0585	97,16
20	7,02	1,08	9	0,02	21,35978	20,9575	101,92
20,2	7,02	1,08	9,2	0,02	21,35978	20,8565	102,41
20,4	7,00	1,05	9,4	0,00	20,68475	20,7555	99,66
20,6	6,99	1,05	9,6	-0,01	20,68475	20,6545	100,15
20,8	6,98	1,08	9,8	-0,02	21,35978	20,5535	103,92
21	6,98	1,08	10	-0,02	21,35978	20,4525	104,44

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIÚÍ/RS							
Local:	ljuí	Amostra:	Areia natural med. compacta 4				
Data:	11/10/10					h ot (%):	10,00
Carga normal (kgf):	44,00					Pressão vertical (kPa):	200,00
Volume (cm³):	50,24					Peso da amostra (g):	96,6
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ_d (kN/m³):	17,50
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ_n (kN/m³):	19,20
						$\gamma_{d_{max}}$ (kN/m³):	17,50
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		53	53				
Peso da cápsula (g):		30,87	30,87				
Cáp. + solo úmido (g):		142,45	139,66				
Cáp. + solo seco (g):		132,99	127,31				
Teor de umidade médio (%):		11,03					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm²)	Tensão (kPa)
11	5,00	0,67	0	0,00		25,5025	0,00
11,2	5,00	1,27	0,2	0,00	25,63497	25,4015	100,92
11,4	5,00	1,53	0,4	0,00	31,48523	25,3005	124,45
11,6	5,00	1,67	0,6	0,00	34,63537	25,1995	137,44
11,8	5,02	1,74	0,8	0,01	36,21044	25,0985	144,27
12	5,03	1,76	1	0,03	36,66046	24,9975	146,66
12,2	5,03	1,82	1,2	0,03	38,01052	24,8965	152,67
12,4	5,04	1,85	1,4	0,04	38,68555	24,7955	156,02
12,6	5,05	1,80	1,6	0,05	37,56050	24,6945	152,10
12,8	5,05	1,82	1,8	0,05	38,01052	24,5935	154,56
13	5,06	1,77	2	0,06	36,88547	24,4925	150,60
13,2	5,06	1,80	2,2	0,06	37,56050	24,3915	153,99
13,4	5,07	1,80	2,4	0,07	37,56050	24,2905	154,63
13,6	5,07	1,82	2,6	0,07	38,01052	24,1895	157,14
13,8	5,08	1,78	2,8	0,08	37,11048	24,0885	154,06
14	5,08	1,75	3	0,08	36,43545	23,9875	151,89
14,2	5,08	1,76	3,2	0,08	36,66046	23,8865	153,48
14,4	5,07	1,78	3,4	0,07	37,11048	23,7855	156,02
14,6	5,06	1,70	3,6	0,06	35,31040	23,6845	149,09
14,8	5,06	1,77	3,8	0,06	36,88547	23,5835	156,40
15	5,06	1,76	4	0,05	36,66046	23,4825	156,12
15,2	5,05	1,75	4,2	0,05	36,43545	23,3815	155,83
15,4	5,06	1,80	4,4	0,05	37,56050	23,2805	161,34
15,6	5,05	1,81	4,6	0,05	37,78551	23,1795	163,01
15,8	5,04	1,76	4,8	0,04	36,66046	23,0785	158,85
16	5,04	1,81	5	0,04	37,78551	22,9775	164,45
16,2	5,04	1,80	5,2	0,04	37,56050	22,8765	164,19
16,4	5,03	1,75	5,4	0,03	36,43545	22,7755	159,98
16,6	5,03	1,75	5,6	0,03	36,43545	22,6745	160,69
16,8	5,01	1,71	5,8	0,01	35,53541	22,5735	157,42
17	5,01	1,75	6	0,00	36,43545	22,4725	162,13
17,2	5,00	1,82	6,2	0,00	38,01052	22,3715	169,91
17,4	5,00	1,77	6,4	0,00	36,88547	22,2705	165,62
17,6	4,98	1,78	6,6	-0,02	37,11048	22,1695	167,39
17,8	4,98	1,78	6,8	-0,03	37,11048	22,0685	168,16
18	4,96	1,75	7	-0,04	36,43545	21,9675	165,86
18,2	4,95	1,78	7,2	-0,05	37,11048	21,8665	169,71
18,4	4,95	1,78	7,4	-0,05	37,11048	21,7655	170,50
18,6	4,95	1,82	7,6	-0,05	38,01052	21,6645	175,45
18,8	4,93	1,82	7,8	-0,07	38,01052	21,5635	176,27
19	4,92	1,81	8	-0,08	37,78551	21,4625	176,05
19,2	4,92	1,81	8,2	-0,09	37,78551	21,3615	176,89
19,4	4,90	1,77	8,4	-0,10	36,88547	21,2605	173,49
19,6	4,90	1,79	8,6	-0,11	37,33549	21,1595	176,45
19,8	4,89	1,80	8,8	-0,11	37,56050	21,0585	178,36
20	4,89	1,80	9	-0,12	37,56050	20,9575	179,22
20,2	4,87	1,75	9,2	-0,14	36,43545	20,8565	174,70
20,4	4,85	1,79	9,4	-0,15	37,33549	20,7555	179,88
20,6	4,85	1,80	9,6	-0,16	37,56050	20,6545	181,85
20,8	4,83	1,78	9,8	-0,17	37,11048	20,5535	180,56
21	4,83	1,83	10	-0,18	38,23553	20,4525	186,95

Resistência ao cisalhamento nas areias: efeito da natureza do grão e da compactidade.

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJUÍ/RS							
Local:	Ijuí	Amostra:	Areia natural compacta 1				
Data:	29/09/10					h ot (%):	10,00
Carga normal (kgf):	0,65					Pressão vertical (kPa):	30,00
Volume (cm ³):	50,24					Peso da amostra (g):	98,55
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ_d (kN/m ³):	17,80
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ_n (kN/m ³):	19,60
						$\gamma_{d_{\max}}$ (kN/m ³):	17,80
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		60	60				
Peso da cápsula (g):		42,62	42,62				
Cáp. + solo úmido (g):		161,38	146,2				
Cáp. + solo seco (g):		150,9	134,38				
Teor de umidade médio (%):		11,28					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm ²)	Tensão (kPa)
12	4,00	0,09	0	0,00		25,5025	0,00
12,2	4,00	0,1	0,2	0,00	-0,6912	25,4015	-2,72
12,4	4,00	0,13	0,4	0,00	-0,01617	25,3005	-0,06
12,6	4,00	0,17	0,6	0,00	0,88387	25,1995	3,51
12,8	4,00	0,21	0,8	0,00	1,78391	25,0985	7,11
13	4,00	0,28	1	0,00	3,35898	24,9975	13,44
13,2	4,00	0,41	1,2	0,00	6,28411	24,8965	25,24
13,4	4,01	0,45	1,4	0,01	7,18415	24,7955	28,97
13,6	4,03	0,47	1,6	0,03	7,63417	24,6945	30,91
13,8	4,07	0,51	1,8	0,07	8,53421	24,5935	34,70
14	4,10	0,51	2	0,09	8,53421	24,4925	34,84
14,2	4,14	0,51	2,2	0,14	8,53421	24,3915	34,99
14,4	4,18	0,49	2,4	0,18	8,08419	24,2905	33,28
14,6	4,20	0,49	2,6	0,20	8,08419	24,1895	33,42
14,8	4,22	0,47	2,8	0,22	7,63417	24,0885	31,69
15	4,25	0,46	3	0,25	7,40916	23,9875	30,89
15,2	4,25	0,45	3,2	0,25	7,18415	23,8865	30,08
15,4	4,28	0,45	3,4	0,28	7,18415	23,7855	30,20
15,6	4,30	0,43	3,6	0,30	6,73413	23,6845	28,43
15,8	4,30	0,43	3,8	0,30	6,73413	23,5835	28,55
16	4,31	0,43	4	0,31	6,73413	23,4825	28,68
16,2	4,32	0,43	4,2	0,32	6,73413	23,3815	28,80
16,4	4,32	0,43	4,4	0,32	6,73413	23,2805	28,93
16,6	4,34	0,41	4,6	0,34	6,28411	23,1795	27,11
16,8	4,33	0,4	4,8	0,33	6,0591	23,0785	26,25
17	4,33	0,4	5	0,33	6,0591	22,9775	26,37
17,2	4,33	0,4	5,2	0,33	6,0591	22,8765	26,49
17,4	4,33	0,4	5,4	0,33	6,0591	22,7755	26,60
17,6	4,33	0,4	5,6	0,33	6,0591	22,6745	26,72
17,8	4,33	0,4	5,8	0,33	6,0591	22,5735	26,84
18	4,33	0,39	6	0,33	5,83409	22,4725	25,96
18,2	4,33	0,39	6,2	0,33	5,83409	22,3715	26,08
18,4	4,33	0,37	6,4	0,33	5,38407	22,2705	24,18
18,6	4,33	0,39	6,6	0,33	5,83409	22,1695	26,32
18,8	4,33	0,4	6,8	0,33	6,0591	22,0685	27,46
19	4,31	0,4	7	0,31	6,0591	21,9675	27,58
19,2	4,31	0,41	7,2	0,31	6,28411	21,8665	28,74
19,4	4,30	0,4	7,4	0,30	6,0591	21,7655	27,84
19,6	4,29	0,4	7,6	0,29	6,0591	21,6645	27,97
19,8	4,28	0,4	7,8	0,28	6,0591	21,5635	28,10
20	4,28	0,41	8	0,28	6,28411	21,4625	29,28
20,2	4,28	0,4	8,2	0,28	6,0591	21,3615	28,36
20,4	4,27	0,4	8,4	0,27	6,0591	21,2605	28,50
20,6	4,25	0,4	8,6	0,25	6,0591	21,1595	28,64
20,8	4,25	0,41	8,8	0,25	6,28411	21,0585	29,84
21	4,24	0,41	9	0,24	6,28411	20,9575	29,99
21,2	4,24	0,42	9,2	0,24	6,50912	20,8565	31,21
21,4	4,23	0,42	9,4	0,23	6,50912	20,7555	31,36
21,6	4,23	0,41	9,6	0,23	6,28411	20,6545	30,42
21,8	4,22	0,41	9,8	0,22	6,28411	20,5535	30,57
22	4,21	0,41	10	0,21	6,28411	20,4525	30,73

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIÚÍ/RS							
Local:	Ijuí	Amostra:	Areia natural compacta 2				
Data:	30/09/10					h ot (%):	10,00
Carga normal (kgf):	8,30					Pressão vertical (kPa):	60,00
Volume (cm³):	50,24					Peso da amostra (g):	98,55
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ_d (kN/m³):	17,80
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ_n (kN/m³):	19,60
						$\gamma_{d_{max}}$ (kN/m³):	17,80
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		56	53				
Peso da cápsula (g):		30,71	30,71				
Cáp. + solo úmido (g):		146,4	131,6				
Cáp. + solo seco (g):		135,79	119,89				
Teor de umidade médio (%):		11,61					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm²)	Tensão (kPa)
13	3,00	0,11	0	0,00		25,5025	0,00
13,2	2,94	0,11	0,2	-0,06	-0,46619	25,4015	-1,84
13,4	2,94	0,12	0,4	-0,06	-0,24118	25,3005	-0,95
13,6	2,92	0,22	0,6	-0,08	2,00892	25,1995	7,97
13,8	2,89	0,29	0,8	-0,11	3,58399	25,0985	14,28
14	2,87	0,37	1	-0,14	5,38407	24,9975	21,54
14,2	2,85	0,41	1,2	-0,16	6,28411	24,8965	25,24
14,4	2,82	0,46	1,4	-0,18	7,40916	24,7955	29,88
14,6	2,81	0,52	1,6	-0,19	8,75922	24,6945	35,47
14,8	2,82	0,53	1,8	-0,19	8,98423	24,5935	36,53
15	2,82	0,57	2	-0,19	9,88427	24,4925	40,36
15,2	2,81	0,59	2,2	-0,20	10,33429	24,3915	42,37
15,4	2,81	0,61	2,4	-0,20	10,78431	24,2905	44,40
15,6	2,81	0,65	2,6	-0,20	11,68435	24,1895	48,30
15,8	2,81	0,66	2,8	-0,19	11,90936	24,0885	49,44
16	2,83	0,66	3	-0,18	11,90936	23,9875	49,65
16,2	2,84	0,69	3,2	-0,16	12,58439	23,8865	52,68
16,4	2,85	0,69	3,4	-0,15	12,58439	23,7855	52,91
16,6	2,86	0,69	3,6	-0,14	12,58439	23,6845	53,13
16,8	2,88	0,69	3,8	-0,12	12,58439	23,5835	53,36
17	2,88	0,69	4	-0,12	12,58439	23,4825	53,59
17,2	2,89	0,69	4,2	-0,11	12,58439	23,3815	53,82
17,4	2,90	0,69	4,4	-0,10	12,58439	23,2805	54,06
17,6	2,91	0,68	4,6	-0,10	12,35938	23,1795	53,32
17,8	2,91	0,67	4,8	-0,09	12,13437	23,0785	52,58
18	2,92	0,65	5	-0,09	11,68435	22,9775	50,85
18,2	2,92	0,66	5,2	-0,09	11,90936	22,8765	52,06
18,4	2,92	0,64	5,4	-0,09	11,45934	22,7755	50,31
18,6	2,92	0,64	5,6	-0,09	11,45934	22,6745	50,54
18,8	2,92	0,64	5,8	-0,09	11,45934	22,5735	50,76
19	2,91	0,64	6	-0,09	11,45934	22,4725	50,99
19,2	2,91	0,63	6,2	-0,10	11,23433	22,3715	50,22
19,4	2,91	0,64	6,4	-0,09	11,45934	22,2705	51,46
19,6	2,90	0,65	6,6	-0,10	11,68435	22,1695	52,70
19,8	2,88	0,64	6,8	-0,12	11,45934	22,0685	51,93
20	2,88	0,65	7	-0,12	11,68435	21,9675	53,19
20,2	2,88	0,66	7,2	-0,12	11,90936	21,8665	54,46
20,4	2,87	0,66	7,4	-0,13	11,90936	21,7655	54,72
20,6	2,86	0,64	7,6	-0,14	11,45934	21,6645	52,89
20,8	2,85	0,65	7,8	-0,15	11,68435	21,5635	54,19
21	2,84	0,64	8	-0,17	11,45934	21,4625	53,39
21,2	2,82	0,64	8,2	-0,18	11,45934	21,3615	53,64
21,4	2,81	0,65	8,4	-0,19	11,68435	21,2605	54,96
21,6	2,81	0,65	8,6	-0,19	11,68435	21,1595	55,22
21,8	2,81	0,65	8,8	-0,20	11,68435	21,0585	55,49
22	2,80	0,65	9	-0,20	11,68435	20,9575	55,75
22,2	2,79	0,63	9,2	-0,21	11,23433	20,8565	53,86
22,4	2,78	0,65	9,4	-0,22	11,68435	20,7555	56,30
22,6	2,77	0,67	9,6	-0,24	12,13437	20,6545	58,75
22,8	2,75	0,64	9,8	-0,25	11,45934	20,5535	55,75
23	2,74	0,65	10	-0,26	11,68435	20,4525	57,13

Resistência ao cisalhamento nas areias: efeito da natureza do grão e da compactidade.

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJUÍ/RS							
Local:	Ijuí	Amostra:	Areia natural compacta 3				
Data:	06/10/10					h ot (%):	10,00
Carga normal (kgf):	18,50					Pressão vertical (kPa):	100,00
Volume (cm³):	50,24					Peso da amostra (g):	98,55
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ_d (kN/m³):	17,80
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ_n (kN/m³):	19,60
						$\gamma_{d_{max}}$ (kN/m³):	17,80
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		50	50				
Peso da cápsula (g):		30,43	30,43				
Cáp. + solo úmido (g):		146,35	135,72				
Cáp. + solo seco (g):		135,72	123,81				
Teor de umidade médio (%):		11,43					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm²)	Tensão (kPa)
11	3,00	0,16	0	0,00		25,5025	0,00
11,2	3,00	0,75	0,2	0,00	13,93445	25,4015	54,86
11,4	3,00	1,03	0,4	0,00	20,23473	25,3005	79,98
11,6	3,00	1,18	0,6	0,00	23,60988	25,1995	93,69
11,8	3,02	1,26	0,8	0,02	25,40996	25,0985	101,24
12	3,05	1,28	1	0,05	25,85998	24,9975	103,45
12,2	3,08	1,29	1,2	0,08	26,08499	24,8965	104,77
12,4	3,14	1,31	1,4	0,14	26,53501	24,7955	107,02
12,6	3,18	1,25	1,6	0,18	25,18495	24,6945	101,99
12,8	3,20	1,19	1,8	0,20	23,83489	24,5935	96,92
13	3,21	1,12	2	0,21	22,25982	24,4925	90,88
13,2	3,24	1,12	2,2	0,24	22,25982	24,3915	91,26
13,4	3,26	1,13	2,4	0,26	22,48483	24,2905	92,57
13,6	3,28	1,07	2,6	0,28	21,13477	24,1895	87,37
13,8	3,29	1,06	2,8	0,29	20,90976	24,0885	86,80
14	3,30	1,05	3	0,30	20,68475	23,9875	86,23
14,2	3,30	1,05	3,2	0,30	20,68475	23,8865	86,60
14,4	3,31	1,05	3,4	0,31	20,68475	23,7855	86,96
14,6	3,32	1,06	3,6	0,32	20,90976	23,6845	88,28
14,8	3,33	1,04	3,8	0,33	20,45974	23,5835	86,75
15	3,32	1,03	4	0,32	20,23473	23,4825	86,17
15,2	3,32	1,05	4,2	0,32	20,68475	23,3815	88,47
15,4	3,32	1,06	4,4	0,32	20,90976	23,2805	89,82
15,6	3,33	1,06	4,6	0,33	20,90976	23,1795	90,21
15,8	3,34	1,04	4,8	0,34	20,45974	23,0785	88,65
16	3,35	1,05	5	0,35	20,68475	22,9775	90,02
16,2	3,36	1,01	5,2	0,36	19,78471	22,8765	86,48
16,4	3,36	0,99	5,4	0,36	19,33469	22,7755	84,89
16,6	3,36	1,01	5,6	0,36	19,78471	22,6745	87,26
16,8	3,36	1,04	5,8	0,36	20,45974	22,5735	90,64
17	3,36	1,06	6	0,36	20,90976	22,4725	93,05
17,2	3,36	1,05	6,2	0,36	20,68475	22,3715	92,46
17,4	3,36	1,04	6,4	0,36	20,45974	22,2705	91,87
17,6	3,36	1,00	6,6	0,36	19,55970	22,1695	88,23
17,8	3,36	1,00	6,8	0,36	19,55970	22,0685	88,63
18	3,36	0,99	7	0,36	19,33469	21,9675	88,01
18,2	3,36	0,99	7,2	0,36	19,33469	21,8665	88,42
18,4	3,36	1,02	7,4	0,36	20,00972	21,7655	91,93
18,6	3,36	1,00	7,6	0,36	19,55970	21,6645	90,28
18,8	3,36	1,02	7,8	0,36	20,00972	21,5635	92,79
19	3,36	1,00	8	0,36	19,55970	21,4625	91,13
19,2	3,36	1,00	8,2	0,36	19,55970	21,3615	91,57
19,4	3,36	0,95	8,4	0,36	18,43465	21,2605	86,71
19,6	3,37	0,94	8,6	0,37	18,20964	21,1595	86,06
19,8	3,34	0,97	8,8	0,34	18,88467	21,0585	89,68
20	3,33	1,00	9	0,33	19,55970	20,9575	93,33
20,2	3,34	1,07	9,2	0,34	21,13477	20,8565	101,33
20,4	3,33	1,07	9,4	0,33	21,13477	20,7555	101,83
20,6	3,33	1,02	9,6	0,33	20,00972	20,6545	96,88
20,8	3,33	1,04	9,8	0,33	20,45974	20,5535	99,54
21	3,33	1,02	10	0,33	20,00972	20,4525	97,84

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIÚÍ/RS							
Local:	Ijuí	Amostra:	Areia natural compacta 4				
Data:	06/10/10					h ot (%):	10,00
Carga normal (kgf):	44,00					Pressão vertical (kPa):	200,00
Volume (cm³):	50,24					Peso da amostra (g):	98,55
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ_d (kN/m³):	17,80
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ_n (kN/m³):	19,60
						$\gamma_{d_{max}}$ (kN/m³):	17,80
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		56	56				
Peso da cápsula (g):		30,7	30,7				
Cáp. + solo úmido (g):		146,45	139,92				
Cáp. + solo seco (g):		138,06	127,51				
Teor de umidade médio (%):		10,32					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm²)	Tensão (kPa)
11	3,00	0,52	0	0,00		25,5025	0,00
11,2	3,00	1,08	0,2	0,00	21,35978	25,4015	84,09
11,4	2,98	1,43	0,4	-0,02	29,23513	25,3005	115,55
11,6	2,98	1,70	0,6	-0,02	35,31040	25,1995	140,12
11,8	2,97	1,89	0,8	-0,04	39,58559	25,0985	157,72
12	2,98	1,96	1	-0,02	41,16066	24,9975	164,66
12,2	2,97	2,06	1,2	-0,04	43,41076	24,8965	174,36
12,4	2,97	2,14	1,4	-0,04	45,21084	24,7955	182,33
12,6	2,99	2,13	1,6	-0,01	44,98583	24,6945	182,17
12,8	3,01	2,00	1,8	0,00	42,06070	24,5935	171,02
13	3,01	2,14	2	0,00	45,21084	24,4925	184,59
13,2	3,03	2,11	2,2	0,02	44,53581	24,3915	182,59
13,4	3,04	2,12	2,4	0,04	44,76082	24,2905	184,27
13,6	3,05	2,11	2,6	0,05	44,53581	24,1895	184,11
13,8	3,07	2,06	2,8	0,07	43,41076	24,0885	180,21
14	3,08	1,98	3	0,08	41,61068	23,9875	173,47
14,2	3,09	2,04	3,2	0,09	42,96074	23,8865	179,85
14,4	3,10	1,96	3,4	0,10	41,16066	23,7855	173,05
14,6	3,11	2,00	3,6	0,11	42,06070	23,6845	177,59
14,8	3,11	1,96	3,8	0,11	41,16066	23,5835	174,53
15	3,12	1,86	4	0,12	38,91056	23,4825	165,70
15,2	3,12	1,94	4,2	0,12	40,71064	23,3815	174,11
15,4	3,12	1,96	4,4	0,12	41,16066	23,2805	176,80
15,6	3,13	1,97	4,6	0,13	41,38567	23,1795	178,54
15,8	3,14	1,92	4,8	0,14	40,26062	23,0785	174,45
16	3,14	1,96	5	0,14	41,16066	22,9775	179,13
16,2	3,14	1,94	5,2	0,14	40,71064	22,8765	177,96
16,4	3,15	1,98	5,4	0,15	41,61068	22,7755	182,70
16,6	3,15	1,95	5,6	0,15	40,93565	22,6745	180,54
16,8	3,16	1,98	5,8	0,16	41,61068	22,5735	184,33
17	3,16	1,88	6	0,16	39,36058	22,4725	175,15
17,2	3,16	1,89	6,2	0,16	39,58559	22,3715	176,95
17,4	3,16	1,88	6,4	0,16	39,36058	22,2705	176,74
17,6	3,16	1,90	6,6	0,16	39,81060	22,1695	179,57
17,8	3,16	1,96	6,8	0,16	41,16066	22,0685	186,51
18	3,16	1,88	7	0,16	39,36058	21,9675	179,18
18,2	3,16	1,88	7,2	0,16	39,36058	21,8665	180,00
18,4	3,16	1,92	7,4	0,16	40,26062	21,7655	184,97
18,6	3,16	1,88	7,6	0,16	39,36058	21,6645	181,68
18,8	3,16	1,93	7,8	0,16	40,48563	21,5635	187,75
19	3,16	1,95	8	0,16	40,93565	21,4625	190,73
19,2	3,16	1,81	8,2	0,16	37,78551	21,3615	176,89
19,4	3,16	1,82	8,4	0,16	38,01052	21,2605	178,78
19,6	3,15	1,84	8,6	0,15	38,46054	21,1595	181,76
19,8	3,15	1,85	8,8	0,15	38,68555	21,0585	183,71
20	3,15	1,83	9	0,15	38,23553	20,9575	182,44
20,2	3,15	1,87	9,2	0,15	39,13557	20,8565	187,64
20,4	3,14	1,87	9,4	0,14	39,13557	20,7555	188,56
20,6	3,14	1,92	9,6	0,14	40,26062	20,6545	194,92
20,8	3,12	1,82	9,8	0,12	38,01052	20,5535	184,93
21	3,12	1,79	10	0,12	37,33549	20,4525	182,55

Resistência ao cisalhamento nas areias: efeito da natureza do grão e da compactidade.

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJIÚ/RS							
Local:	Ijuí	Amostra:	Areia artificial fofa 1				
Data:	06/10/2010					h ot (%):	0,00
Carga normal (kgf):	0,65					Pressão vertical (kPa):	30,00
Volume (cm³):	50,24					Peso da amostra (g):	83,1
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ_d (kN/m³):	16,50
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ_n (kN/m³):	16,50
						$\gamma_{d_{\max}}$ (kN/m³):	16,50
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		99	99				
Peso da cápsula (g):		51,23	51,23				
Cáp. + solo úmido (g):		0	146,87				
Cáp. + solo seco (g):		138,03	133,89				
Teor de umidade médio (%):		0,00					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm²)	Tensão (kPa)
12	3,00	0,20	0	0,00		25,5025	0,00
12,2	2,98	0,3	0,2	-0,02	3,809	25,4015	15,00
12,4	2,99	0,36	0,4	-0,02	5,15906	25,3005	20,39
12,6	2,97	0,40	0,6	-0,04	6,0591	25,1995	24,04
12,8	2,94	0,43	0,8	-0,06	6,73413	25,0985	26,83
13	2,93	0,47	1	-0,07	7,63417	24,9975	30,54
13,2	2,93	0,49	1,2	-0,07	8,08419	24,8965	32,47
13,4	2,95	0,51	1,4	-0,05	8,53421	24,7955	34,42
13,6	2,98	0,53	1,6	-0,02	8,98423	24,6945	36,38
13,8	3,00	0,53	1,8	0,00	8,98423	24,5935	36,53
14	3,03	0,54	2	0,03	9,20924	24,4925	37,60
14,2	3,06	0,54	2,2	0,06	9,20924	24,3915	37,76
14,4	3,09	0,53	2,4	0,09	8,98423	24,2905	36,99
14,6	3,13	0,53	2,6	0,13	8,98423	24,1895	37,14
14,8	3,16	0,53	2,8	0,16	8,98423	24,0885	37,30
15	3,19	0,54	3	0,19	9,20924	23,9875	38,39
15,2	3,23	0,54	3,2	0,23	9,20924	23,8865	38,55
15,4	3,25	0,53	3,4	0,25	8,98423	23,7855	37,77
15,6	3,27	0,52	3,6	0,27	8,75922	23,6845	36,98
15,8	3,28	0,52	3,8	0,28	8,75922	23,5835	37,14
16	3,31	0,53	4	0,31	8,98423	23,4825	38,26
16,2	3,34	0,52	4,2	0,34	8,75922	23,3815	37,46
16,4	3,36	0,51	4,4	0,36	8,53421	23,2805	36,66
16,6	3,38	0,52	4,6	0,38	8,75922	23,1795	37,79
16,8	3,39	0,51	4,8	0,39	8,53421	23,0785	36,98
17	3,40	0,51	5	0,40	8,53421	22,9775	37,14
17,2	3,42	0,53	5,2	0,42	8,98423	22,8765	39,27
17,4	3,44	0,52	5,4	0,44	8,75922	22,7755	38,46
17,6	3,46	0,53	5,6	0,46	8,98423	22,6745	39,62
17,8	3,46	0,52	5,8	0,46	8,75922	22,5735	38,80
18	3,47	0,53	6	0,47	8,98423	22,4725	39,98
18,2	3,48	0,55	6,2	0,48	9,43425	22,3715	42,17
18,4	3,50	0,54	6,4	0,50	9,20924	22,2705	41,35
18,6	3,51	0,54	6,6	0,51	9,20924	22,1695	41,54
18,8	3,52	0,53	6,8	0,52	8,98423	22,0685	40,71
19	3,54	0,54	7	0,54	9,20924	21,9675	41,92
19,2	3,55	0,53	7,2	0,55	8,98423	21,8665	41,09
19,4	3,56	0,54	7,4	0,56	9,20924	21,7655	42,31
19,6	3,57	0,55	7,6	0,57	9,43425	21,6645	43,55
19,8	3,58	0,55	7,8	0,58	9,43425	21,5635	43,75
20	3,59	0,53	8	0,59	8,98423	21,4625	41,86
20,2	3,60	0,53	8,2	0,60	8,98423	21,3615	42,06
20,4	3,62	0,53	8,4	0,62	8,98423	21,2605	42,26
20,6	3,64	0,53	8,6	0,64	8,98423	21,1595	42,46
20,8	3,65	0,53	8,8	0,65	8,98423	21,0585	42,66
21	3,65	0,52	9	0,65	8,75922	20,9575	41,80
21,2	3,67	0,54	9,2	0,67	9,20924	20,8565	44,16
21,4	3,68	0,53	9,4	0,68	8,98423	20,7555	43,29
21,6	3,69	0,53	9,6	0,69	8,98423	20,6545	43,50
21,8	3,70	0,53	9,8	0,70	8,98423	20,5535	43,71
22	3,71	0,52	10	0,71	8,75922	20,4525	42,83

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIÚÍ/RS							
Local:	ljuí	Amostra:	Areia artificial fofo 2				
Data:	06/10/10					h _{ot} (%):	0,00
Carga normal (kgf):	8,30					Pressão vertical (kPa):	60,00
Volume (cm ³):	50,24					Peso da amostra (g):	83,1
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ _d (kN/m ³):	16,50
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ _n (kN/m ³):	16,50
						γ _{dmax} (kN/m ³):	16,50
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		68	68				
Peso da cápsula (g):		51,98	51,98				
Cáp. + solo úmido (g):		0	148,7				
Cáp. + solo seco (g):		138,96	134,84				
Teor de umidade médio (%):		0,00					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm ²)	Tensão (kPa)
12	3,00	0,50	0	0,00		25,5025	0,00
12,2	3,01	0,68	0,2	0,00	12,35938	25,4015	48,66
12,4	3,01	0,74	0,4	0,00	13,70944	25,3005	54,19
12,6	3,00	0,78	0,6	0,00	14,60948	25,1995	57,98
12,8	3,00	0,82	0,8	0,00	15,50952	25,0985	61,79
13	3,00	0,84	1	0,00	15,95954	24,9975	63,84
13,2	3,00	0,88	1,2	0,00	16,85958	24,8965	67,72
13,4	3,00	0,91	1,4	0,00	17,53461	24,7955	70,72
13,6	3,00	0,94	1,6	0,00	18,20964	24,6945	73,74
13,8	3,00	0,98	1,8	0,00	19,10968	24,5935	77,70
14	3,03	1,00	2	0,03	19,5597	24,4925	79,86
14,2	3,04	1,02	2,2	0,04	20,00972	24,3915	82,04
14,4	3,07	1,03	2,4	0,07	20,23473	24,2905	83,30
14,6	3,10	1,04	2,6	0,10	20,45974	24,1895	84,58
14,8	3,12	1,04	2,8	0,12	20,45974	24,0885	84,94
15	3,15	1,03	3	0,15	20,23473	23,9875	84,36
15,2	3,19	1,04	3,2	0,19	20,45974	23,8865	85,65
15,4	3,20	1,03	3,4	0,20	20,23473	23,7855	85,07
15,6	3,23	1,03	3,6	0,23	20,23473	23,6845	85,43
15,8	3,26	1,02	3,8	0,26	20,00972	23,5835	84,85
16	3,29	1,00	4	0,29	19,5597	23,4825	83,29
16,2	3,30	0,99	4,2	0,30	19,33469	23,3815	82,69
16,4	3,33	0,98	4,4	0,33	19,10968	23,2805	82,08
16,6	3,35	0,97	4,6	0,35	18,88467	23,1795	81,47
16,8	3,37	0,94	4,8	0,37	18,20964	23,0785	78,90
17	3,38	0,92	5	0,38	17,75962	22,9775	77,29
17,2	3,40	0,92	5,2	0,40	17,75962	22,8765	77,63
17,4	3,41	0,92	5,4	0,41	17,75962	22,7755	77,98
17,6	3,43	0,92	5,6	0,43	17,75962	22,6745	78,32
17,8	3,44	0,92	5,8	0,44	17,75962	22,5735	78,67
18	3,45	0,90	6	0,45	17,3096	22,4725	77,03
18,2	3,46	0,90	6,2	0,46	17,3096	22,3715	77,37
18,4	3,47	0,89	6,4	0,47	17,08459	22,2705	76,71
18,6	3,48	0,88	6,6	0,48	16,85958	22,1695	76,05
18,8	3,50	0,85	6,8	0,50	16,18455	22,0685	73,34
19	3,50	0,85	7	0,50	16,18455	21,9675	73,67
19,2	3,51	0,83	7,2	0,51	15,73453	21,8665	71,96
19,4	3,51	0,83	7,4	0,51	15,73453	21,7655	72,29
19,6	3,51	0,82	7,6	0,51	15,50952	21,6645	71,59
19,8	3,51	0,81	7,8	0,51	15,28451	21,5635	70,88
20	3,51	0,80	8	0,51	15,0595	21,4625	70,17
20,2	3,51	0,80	8,2	0,51	15,0595	21,3615	70,50
20,4	3,51	0,80	8,4	0,51	15,0595	21,2605	70,83
20,6	3,51	0,79	8,6	0,51	14,83449	21,1595	70,11
20,8	3,50	0,78	8,8	0,50	14,60948	21,0585	69,38
21	3,50	0,78	9	0,50	14,60948	20,9575	69,71
21,2	3,50	0,79	9,2	0,50	14,83449	20,8565	71,13
21,4	3,50	0,77	9,4	0,50	14,38447	20,7555	69,30
21,6	3,50	0,76	9,6	0,50	14,15946	20,6545	68,55
21,8	3,50	0,77	9,8	0,50	14,38447	20,5535	69,99
22	3,49	0,77	10	0,49	14,38447	20,4525	70,33

Resistência ao cisalhamento nas areias: efeito da natureza do grão e da compactidade.

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJIÚ/RS							
Local:	Ijuí	Amostra:	Areia artificial fofa 3				
Data:	06/10/10					h ot (%):	0,00
Carga normal (kgf):	18,50					Pressão vertical (kPa):	100,00
Volume (cm³):	50,24					Peso da amostra (g):	83,1
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ_d (kN/m³):	16,50
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ_n (kN/m³):	16,50
						$\gamma_{d_{max}}$ (kN/m³):	16,50
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		62	62				
Peso da cápsula (g):		51,92	51,92				
Cáp. + solo úmido (g):		0	148,38				
Cáp. + solo seco (g):		139,12	135,14				
Teor de umidade médio (%):		0,00					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm²)	Tensão (kPa)
11	3,00	0,39	0	0,00		25,5025	0,00
11,2	2,96	0,69	0,2	-0,04	12,58439	25,4015	49,54
11,4	2,96	0,86	0,4	-0,04	16,40956	25,3005	64,86
11,6	2,96	0,96	0,6	-0,04	18,65966	25,1995	74,05
11,8	2,96	1,11	0,8	-0,04	22,03481	25,0985	87,79
12	2,96	1,25	1	-0,04	25,18495	24,9975	100,75
12,2	2,96	1,28	1,2	-0,04	25,85998	24,8965	103,87
12,4	2,97	1,32	1,4	-0,03	26,76002	24,7955	107,92
12,6	2,99	1,40	1,6	-0,02	28,56010	24,6945	115,65
12,8	3,01	1,46	1,8	0,01	29,91016	24,5935	121,62
13	3,03	1,49	2	0,03	30,58519	24,4925	124,88
13,2	3,06	1,51	2,2	0,06	31,03521	24,3915	127,24
13,4	3,09	1,53	2,4	0,09	31,48523	24,2905	129,62
13,6	3,14	1,52	2,6	0,14	31,26022	24,1895	129,23
13,8	3,16	1,54	2,8	0,16	31,71024	24,0885	131,64
14	3,19	1,55	3	0,19	31,93525	23,9875	133,13
14,2	3,22	1,56	3,2	0,22	32,16026	23,8865	134,64
14,4	3,26	1,56	3,4	0,26	32,16026	23,7855	135,21
14,6	3,30	1,55	3,6	0,30	31,93525	23,6845	134,84
14,8	3,33	1,55	3,8	0,33	31,93525	23,5835	135,41
15	3,36	1,53	4	0,36	31,48523	23,4825	134,08
15,2	3,40	1,52	4,2	0,40	31,26022	23,3815	133,70
15,4	3,42	1,53	4,4	0,42	31,48523	23,2805	135,24
15,6	3,46	1,55	4,6	0,46	31,93525	23,1795	137,77
15,8	3,48	1,53	4,8	0,48	31,48523	23,0785	136,43
16	3,51	1,55	5	0,51	31,93525	22,9775	138,98
16,2	3,53	1,53	5,2	0,53	31,48523	22,8765	137,63
16,4	3,57	1,52	5,4	0,57	31,26022	22,7755	137,25
16,6	3,58	1,52	5,6	0,58	31,26022	22,6745	137,87
16,8	3,60	1,52	5,8	0,60	31,26022	22,5735	138,48
17	3,65	1,47	6	0,65	30,13517	22,4725	134,10
17,2	3,65	1,47	6,2	0,65	30,13517	22,3715	134,70
17,4	3,68	1,47	6,4	0,68	30,13517	22,2705	135,31
17,6	3,72	1,46	6,6	0,72	29,91016	22,1695	134,92
17,8	3,73	1,44	6,8	0,73	29,46014	22,0685	133,49
18	3,76	1,41	7	0,76	28,78511	21,9675	131,03
18,2	3,77	1,40	7,2	0,77	28,56010	21,8665	130,61
18,4	3,80	1,39	7,4	0,80	28,33509	21,7655	130,18
18,6	3,81	1,37	7,6	0,81	27,88507	21,6645	128,71
18,8	3,82	1,33	7,8	0,82	26,98503	21,5635	125,14
19	3,84	1,33	8	0,84	26,98503	21,4625	125,73
19,2	3,85	1,31	8,2	0,85	26,53501	21,3615	124,22
19,4	3,87	1,31	8,4	0,87	26,53501	21,2605	124,81
19,6	3,89	1,30	8,6	0,89	26,31000	21,1595	124,34
19,8	3,90	1,30	8,8	0,90	26,31000	21,0585	124,94
20	3,90	1,28	9	0,90	25,85998	20,9575	123,39
20,2	3,91	1,29	9,2	0,91	26,08499	20,8565	125,07
20,4	3,92	1,27	9,4	0,92	25,63497	20,7555	123,51
20,6	3,94	1,27	9,6	0,94	25,63497	20,6545	124,11
20,8	3,95	1,27	9,8	0,95	25,63497	20,5535	124,72
21	3,96	1,25	10	0,96	25,18495	20,4525	123,14

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIÚÍ/RS							
Local:	Ituí	Amostra:	Areia artificial fofa 4				
Data:	07/10/10					h ot (%):	0,00
Carga normal (kgf):	44,00					Pressão vertical (kPa):	200,00
Volume (cm³):	50,24					Peso da amostra (g):	83,1
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ_d (kN/m³):	16,50
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ_n (kN/m³):	16,50
						$\gamma_{d_{max}}$ (kN/m³):	16,50
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		65	65				
Peso da cápsula (g):		51,21	51,21				
Cáp. + solo úmido (g):		0	148,12				
Cáp. + solo seco (g):		138,93	134,77				
Teor de umidade médio (%):		0,00					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm²)	Tensão (kPa)
11	5,00	0,46	0	0,00		25,5025	0,00
11,2	4,95	1,01	0,2	-0,05	19,78471	25,4015	77,89
11,4	4,91	1,25	0,4	-0,09	25,18495	25,3005	99,54
11,6	4,89	1,40	0,6	-0,12	28,56010	25,1995	113,34
11,8	4,86	1,54	0,8	-0,14	31,71024	25,0985	126,34
12	4,85	1,64	1	-0,15	33,96034	24,9975	135,85
12,2	4,84	1,76	1,2	-0,17	36,66046	24,8965	147,25
12,4	4,83	1,86	1,4	-0,17	38,91056	24,7955	156,93
12,6	4,82	1,92	1,6	-0,18	40,26062	24,6945	163,03
12,8	4,82	2,01	1,8	-0,19	42,28571	24,5935	171,94
13	4,81	2,08	2	-0,19	43,86078	24,4925	179,08
13,2	4,81	2,14	2,2	-0,19	45,21084	24,3915	185,35
13,4	4,81	2,18	2,4	-0,19	46,11088	24,2905	189,83
13,6	4,81	2,19	2,6	-0,19	46,33589	24,1895	191,55
13,8	4,81	2,26	2,8	-0,20	47,91096	24,0885	198,90
14	4,81	2,30	3	-0,20	48,81100	23,9875	203,49
14,2	4,81	2,35	3,2	-0,20	49,93605	23,8865	209,06
14,4	4,81	2,39	3,4	-0,20	50,83609	23,7855	213,73
14,6	4,81	2,44	3,6	-0,20	51,96114	23,6845	219,39
14,8	4,81	2,49	3,8	-0,20	53,08619	23,5835	225,10
15	4,81	2,51	4	-0,20	53,53621	23,4825	227,98
15,2	4,81	2,57	4,2	-0,19	54,88627	23,3815	234,74
15,4	4,82	2,57	4,4	-0,19	54,88627	23,2805	235,76
15,6	4,82	2,58	4,6	-0,18	55,11128	23,1795	237,76
15,8	4,82	2,59	4,8	-0,18	55,33629	23,0785	239,77
16	4,83	2,58	5	-0,17	55,11128	22,9775	239,85
16,2	4,84	2,59	5,2	-0,17	55,33629	22,8765	241,89
16,4	4,85	2,59	5,4	-0,15	55,33629	22,7755	242,96
16,6	4,85	2,59	5,6	-0,15	55,33629	22,6745	244,05
16,8	4,85	2,55	5,8	-0,15	54,43625	22,5735	241,15
17	4,86	2,53	6	-0,14	53,98623	22,4725	240,23
17,2	4,88	2,55	6,2	-0,13	54,43625	22,3715	243,33
17,4	4,88	2,59	6,4	-0,13	55,33629	22,2705	248,47
17,6	4,88	2,56	6,6	-0,13	54,66126	22,1695	246,56
17,8	4,88	2,56	6,8	-0,13	54,66126	22,0685	247,69
18	4,88	2,52	7	-0,13	53,76122	21,9675	244,73
18,2	4,88	2,51	7,2	-0,13	53,53621	21,8665	244,83
18,4	4,88	2,47	7,4	-0,13	52,63617	21,7655	241,83
18,6	4,89	2,45	7,6	-0,12	52,18615	21,6645	240,88
18,8	4,90	2,47	7,8	-0,11	52,63617	21,5635	244,10
19	4,90	2,46	8	-0,11	52,41116	21,4625	244,20
19,2	4,90	2,49	8,2	-0,11	53,08619	21,3615	248,51
19,4	4,90	2,47	8,4	-0,11	52,63617	21,2605	247,58
19,6	4,92	2,46	8,6	-0,09	52,41116	21,1595	247,70
19,8	4,93	2,42	8,8	-0,07	51,51112	21,0585	244,61
20	4,94	2,40	9	-0,06	51,06110	20,9575	243,64
20,2	4,95	2,39	9,2	-0,05	50,83609	20,8565	243,74
20,4	4,96	2,34	9,4	-0,04	49,71104	20,7555	239,51
20,6	4,96	2,37	9,6	-0,04	50,38607	20,6545	243,95
20,8	4,96	2,39	9,8	-0,04	50,83609	20,5535	247,34
21	4,95	2,38	10	-0,05	50,61108	20,4525	247,46

Resistência ao cisalhamento nas areias: efeito da natureza do grão e da compactidade.

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJUÍ/RS							
Local:	Ijuí	Amostra:	Areia artificial med. compacta 1				
Data:	08/10/10					h _{ot} (%):	10,00
Carga normal (kgf):	0,65					Pressão vertical (kPa):	30,00
Volume (cm ³):	50,24					Peso da amostra (g):	91,92
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ _d (kN/m ³):	16,60
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ _n (kN/m ³):	18,30
						γ _{d máx} (kN/m ³):	16,60
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:							
		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		56	56				
Peso da cápsula (g):		30,69	30,69				
Cáp. + solo úmido (g):		133,72	130,58				
Cáp. + solo seco (g):		123,83	117,37				
Teor de umidade médio (%):		12,93					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm ²)	Tensão (kPa)
11	2,00	0,23	0	0,00		25,5025	0,00
11,2	1,97	0,32	0,2	-0,03	4,25902	25,4015	16,77
11,4	1,94	0,34	0,4	-0,06	4,70904	25,3005	18,61
11,6	1,93	0,38	0,6	-0,08	5,60908	25,1995	22,26
11,8	1,92	0,39	0,8	-0,08	5,83409	25,0985	23,24
12	1,92	0,4	1	-0,09	6,0591	24,9975	24,24
12,2	1,91	0,4	1,2	-0,09	6,0591	24,8965	24,34
12,4	1,90	0,4	1,4	-0,10	6,0591	24,7955	24,44
12,6	1,90	0,4	1,6	-0,10	6,0591	24,6945	24,54
12,8	1,88	0,41	1,8	-0,12	6,28411	24,5935	25,55
13	1,87	0,4	2	-0,13	6,0591	24,4925	24,74
13,2	1,86	0,4	2,2	-0,14	6,0591	24,3915	24,84
13,4	1,86	0,4	2,4	-0,15	6,0591	24,2905	24,94
13,6	1,85	0,41	2,6	-0,15	6,28411	24,1895	25,98
13,8	1,85	0,41	2,8	-0,15	6,28411	24,0885	26,09
14	1,85	0,41	3	-0,16	6,28411	23,9875	26,20
14,2	1,84	0,41	3,2	-0,16	6,28411	23,8865	26,31
14,4	1,84	0,41	3,4	-0,16	6,28411	23,7855	26,42
14,6	1,84	0,41	3,6	-0,16	6,28411	23,6845	26,53
14,8	1,84	0,43	3,8	-0,17	6,73413	23,5835	28,55
15	1,84	0,43	4	-0,17	6,73413	23,4825	28,68
15,2	1,84	0,43	4,2	-0,17	6,73413	23,3815	28,80
15,4	1,84	0,43	4,4	-0,17	6,73413	23,2805	28,93
15,6	1,84	0,43	4,6	-0,17	6,73413	23,1795	29,05
15,8	1,84	0,44	4,8	-0,17	6,95914	23,0785	30,15
16	1,84	0,45	5	-0,17	7,18415	22,9775	31,27
16,2	1,84	0,45	5,2	-0,16	7,18415	22,8765	31,40
16,4	1,85	0,45	5,4	-0,16	7,18415	22,7755	31,54
16,6	1,85	0,45	5,6	-0,15	7,18415	22,6745	31,68
16,8	1,85	0,46	5,8	-0,15	7,40916	22,5735	32,82
17	1,83	0,46	6	-0,17	7,40916	22,4725	32,97
17,2	1,83	0,46	6,2	-0,17	7,40916	22,3715	33,12
17,4	1,83	0,47	6,4	-0,17	7,63417	22,2705	34,28
17,6	1,83	0,47	6,6	-0,17	7,63417	22,1695	34,44
17,8	1,82	0,47	6,8	-0,18	7,63417	22,0685	34,59
18	1,82	0,48	7	-0,18	7,85918	21,9675	35,78
18,2	1,82	0,47	7,2	-0,18	7,63417	21,8665	34,91
18,4	1,83	0,48	7,4	-0,18	7,85918	21,7655	36,11
18,6	1,81	0,49	7,6	-0,19	8,08419	21,6645	37,32
18,8	1,81	0,48	7,8	-0,19	7,85918	21,5635	36,45
19	1,79	0,48	8	-0,21	7,85918	21,4625	36,62
19,2	1,79	0,49	8,2	-0,22	8,08419	21,3615	37,84
19,4	1,78	0,51	8,4	-0,22	8,53421	21,2605	40,14
19,6	1,78	0,5	8,6	-0,22	8,3092	21,1595	39,27
19,8	1,77	0,5	8,8	-0,23	8,3092	21,0585	39,46
20	1,76	0,51	9	-0,24	8,53421	20,9575	40,72
20,2	1,75	0,52	9,2	-0,25	8,75922	20,8565	42,00
20,4	1,75	0,52	9,4	-0,26	8,75922	20,7555	42,20
20,6	1,74	0,52	9,6	-0,26	8,75922	20,6545	42,41
20,8	1,74	0,52	9,8	-0,27	8,75922	20,5535	42,62
21	1,74	0,52	10	-0,27	8,75922	20,4525	42,83

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIÚÍ/RS							
Local:	ljuí	Amostra:	Areia artificial med. compacta 2				
Data:	08/10/10					h ot (%):	10,00
Carga normal (kgf):	8,30					Pressão vertical (kPa):	60,00
Volume (cm³):	50,24					Peso da amostra (g):	91,92
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ_d (kN/m³):	16,60
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ_n (kN/m³):	18,30
						$\gamma_{d_{\max}}$ (kN/m³):	16,60
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		68	68				
Peso da cápsula (g):		51,94	51,94				
Cáp. + solo úmido (g):		155,54	151,75				
Cáp. + solo seco (g):		145,17	138,1				
Teor de umidade médio (%):		13,48					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm²)	Tensão (kPa)
11	4,00	0,29	0	0,00		25,5025	0,00
11,2	3,94	0,39	0,2	-0,06	5,83409	25,4015	22,97
11,4	3,87	0,41	0,4	-0,14	6,28411	25,3005	24,84
11,6	3,79	0,42	0,6	-0,21	6,50912	25,1995	25,83
11,8	3,72	0,43	0,8	-0,29	6,73413	25,0985	26,83
12	3,65	0,45	1	-0,36	7,18415	24,9975	28,74
12,2	3,61	0,47	1,2	-0,39	7,63417	24,8965	30,66
12,4	3,55	0,47	1,4	-0,45	7,63417	24,7955	30,79
12,6	3,54	0,50	1,6	-0,46	8,3092	24,6945	33,65
12,8	3,51	0,51	1,8	-0,49	8,53421	24,5935	34,70
13	3,48	0,53	2	-0,52	8,98423	24,4925	36,68
13,2	3,46	0,55	2,2	-0,54	9,43425	24,3915	38,68
13,4	3,44	0,56	2,4	-0,56	9,65926	24,2905	39,77
13,6	3,43	0,57	2,6	-0,58	9,88427	24,1895	40,86
13,8	3,41	0,57	2,8	-0,59	9,88427	24,0885	41,03
14	3,39	0,58	3	-0,61	10,10928	23,9875	42,14
14,2	3,38	0,58	3,2	-0,62	10,10928	23,8865	42,32
14,4	3,37	0,57	3,4	-0,63	9,88427	23,7855	41,56
14,6	3,36	0,57	3,6	-0,65	9,88427	23,6845	41,73
14,8	3,34	0,57	3,8	-0,66	9,88427	23,5835	41,91
15	3,33	0,58	4	-0,67	10,10928	23,4825	43,05
15,2	3,32	0,58	4,2	-0,68	10,10928	23,3815	43,24
15,4	3,31	0,58	4,4	-0,70	10,10928	23,2805	43,42
15,6	3,30	0,60	4,6	-0,70	10,5593	23,1795	45,55
15,8	3,30	0,59	4,8	-0,70	10,33429	23,0785	44,78
16	3,29	0,58	5	-0,71	10,10928	22,9775	44,00
16,2	3,26	0,60	5,2	-0,75	10,5593	22,8765	46,16
16,4	3,25	0,60	5,4	-0,75	10,5593	22,7755	46,36
16,6	3,25	0,61	5,6	-0,75	10,78431	22,6745	47,56
16,8	3,25	0,61	5,8	-0,75	10,78431	22,5735	47,77
17	3,25	0,61	6	-0,75	10,78431	22,4725	47,99
17,2	3,25	0,62	6,2	-0,75	11,00932	22,3715	49,21
17,4	3,25	0,61	6,4	-0,75	10,78431	22,2705	48,42
17,6	3,25	0,63	6,6	-0,75	11,23433	22,1695	50,67
17,8	3,25	0,63	6,8	-0,75	11,23433	22,0685	50,91
18	3,25	0,63	7	-0,76	11,23433	21,9675	51,14
18,2	3,25	0,64	7,2	-0,76	11,45934	21,8665	52,41
18,4	3,25	0,65	7,4	-0,76	11,68435	21,7655	53,68
18,6	3,25	0,65	7,6	-0,76	11,68435	21,6645	53,93
18,8	3,25	0,65	7,8	-0,76	11,68435	21,5635	54,19
19	3,25	0,66	8	-0,76	11,90936	21,4625	55,49
19,2	3,25	0,67	8,2	-0,76	12,13437	21,3615	56,80
19,4	3,25	0,69	8,4	-0,76	12,58439	21,2605	59,19
19,6	3,25	0,69	8,6	-0,76	12,58439	21,1595	59,47
19,8	3,25	0,69	8,8	-0,76	12,58439	21,0585	59,76
20	3,25	0,69	9	-0,76	12,58439	20,9575	60,05
20,2	3,25	0,71	9,2	-0,76	13,03441	20,8565	62,50
20,4	3,24	0,70	9,4	-0,76	12,8094	20,7555	61,72
20,6	3,24	0,71	9,6	-0,76	13,03441	20,6545	63,11
20,8	3,24	0,73	9,8	-0,76	13,48443	20,5535	65,61
21	3,24	0,71	10	-0,77	13,03441	20,4525	63,73

Resistência ao cisalhamento nas areias: efeito da natureza do grão e da compactidade.

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJUÍ/RS							
Local:	Ijuí	Amostra:	Areia artificial med. compacta 3				
Data:	08/10/10					h ot (%):	10,00
Carga normal (kgf):	18,50					Pressão vertical (kPa):	100,00
Volume (cm³):	50,24					Peso da amostra (g):	91,92
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ_d (kN/m³):	16,60
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ_n (kN/m³):	18,30
						$\gamma_{d_{\max}}$ (kN/m³):	16,60
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		65	65				
Peso da cápsula (g):		51,14	51,14				
Cáp. + solo úmido (g):		153,93	151,42				
Cáp. + solo seco (g):		144,4	137,86				
Teor de umidade médio (%):		12,93					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm²)	Tensão (kPa)
11	4,00	0,25	0	0,00		25,5025	0,00
11,2	3,96	0,40	0,2	-0,04	6,05910	25,4015	23,85
11,4	3,91	0,49	0,4	-0,10	8,08419	25,3005	31,95
11,6	3,86	0,57	0,6	-0,15	9,88427	25,1995	39,22
11,8	3,82	0,61	0,8	-0,18	10,78431	25,0985	42,97
12	3,79	0,64	1	-0,21	11,45934	24,9975	45,84
12,2	3,77	0,70	1,2	-0,23	12,80940	24,8965	51,45
12,4	3,74	0,75	1,4	-0,26	13,93445	24,7955	56,20
12,6	3,72	0,78	1,6	-0,28	14,60948	24,6945	59,16
12,8	3,72	0,82	1,8	-0,29	15,50952	24,5935	63,06
13	3,70	0,86	2	-0,30	16,40956	24,4925	67,00
13,2	3,69	0,88	2,2	-0,32	16,85958	24,3915	69,12
13,4	3,67	0,91	2,4	-0,34	17,53461	24,2905	72,19
13,6	3,66	0,94	2,6	-0,35	18,20964	24,1895	75,28
13,8	3,65	0,98	2,8	-0,36	19,10968	24,0885	79,33
14	3,64	0,99	3	-0,37	19,33469	23,9875	80,60
14,2	3,60	1,01	3,2	-0,40	19,78471	23,8865	82,83
14,4	3,60	1,04	3,4	-0,41	20,45974	23,7855	86,02
14,6	3,59	1,06	3,6	-0,41	20,90976	23,6845	88,28
14,8	3,59	1,06	3,8	-0,41	20,90976	23,5835	88,66
15	3,59	1,09	4	-0,42	21,58479	23,4825	91,92
15,2	3,58	1,09	4,2	-0,42	21,58479	23,3815	92,32
15,4	3,57	1,12	4,4	-0,43	22,25982	23,2805	95,62
15,6	3,57	1,14	4,6	-0,43	22,70984	23,1795	97,97
15,8	3,55	1,13	4,8	-0,45	22,48483	23,0785	97,43
16	3,54	1,17	5	-0,46	23,38487	22,9775	101,77
16,2	3,54	1,19	5,2	-0,46	23,83489	22,8765	104,19
16,4	3,54	1,21	5,4	-0,46	24,28491	22,7755	106,63
16,6	3,54	1,22	5,6	-0,47	24,50992	22,6745	108,09
16,8	3,54	1,23	5,8	-0,47	24,73493	22,5735	109,58
17	3,54	1,23	6	-0,47	24,73493	22,4725	110,07
17,2	3,53	1,28	6,2	-0,47	25,85998	22,3715	115,59
17,4	3,54	1,26	6,4	-0,46	25,40996	22,2705	114,10
17,6	3,55	1,30	6,6	-0,45	26,31000	22,1695	118,68
17,8	3,55	1,30	6,8	-0,45	26,31000	22,0685	119,22
18	3,56	1,28	7	-0,44	25,85998	21,9675	117,72
18,2	3,56	1,29	7,2	-0,44	26,08499	21,8665	119,29
18,4	3,56	1,29	7,4	-0,44	26,08499	21,7655	119,85
18,6	3,57	1,29	7,6	-0,44	26,08499	21,6645	120,40
18,8	3,57	1,31	7,8	-0,43	26,53501	21,5635	123,06
19	3,57	1,30	8	-0,43	26,31000	21,4625	122,59
19,2	3,58	1,28	8,2	-0,42	25,85998	21,3615	121,06
19,4	3,59	1,29	8,4	-0,42	26,08499	21,2605	122,69
19,6	3,59	1,30	8,6	-0,41	26,31000	21,1595	124,34
19,8	3,60	1,31	8,8	-0,41	26,53501	21,0585	126,01
20	3,61	1,33	9	-0,40	26,98503	20,9575	128,76
20,2	3,61	1,29	9,2	-0,39	26,08499	20,8565	125,07
20,4	3,63	1,29	9,4	-0,38	26,08499	20,7555	125,68
20,6	3,62	1,29	9,6	-0,38	26,08499	20,6545	126,29
20,8	3,63	1,29	9,8	-0,37	26,08499	20,5535	126,91
21	3,63	1,29	10	-0,37	26,08499	20,4525	127,54

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIÚÍ/RS							
Local:	Ijuí	Amostra:	Areia artificial med. compacta 4				
Data:	08/10/10					h ot (%):	10,00
Carga normal (kgf):	44,00					Pressão vertical (kPa):	200,00
Volume (cm³):	50,24					Peso da amostra (g):	91,92
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ_d (kN/m³):	16,60
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ_n (kN/m³):	18,30
						$\gamma_{d_{max}}$ (kN/m³):	16,60
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		62	62				
Peso da cápsula (g):		51,96	51,96				
Cáp. + solo úmido (g):		154,65	152,94				
Cáp. + solo seco (g):		145,48	139,68				
Teor de umidade médio (%):		12,46					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm²)	Tensão (kPa)
11	4,00	0,52	0	0,00		25,5025	0,00
11,2	3,95	0,76	0,2	-0,05	14,15946	25,4015	55,74
11,4	3,93	0,92	0,4	-0,08	17,75962	25,3005	70,19
11,6	3,87	1,04	0,6	-0,13	20,45974	25,1995	81,19
11,8	3,83	1,17	0,8	-0,18	23,38487	25,0985	93,17
12	3,79	1,26	1	-0,21	25,40996	24,9975	101,65
12,2	3,77	1,33	1,2	-0,24	26,98503	24,8965	108,39
12,4	3,74	1,43	1,4	-0,26	29,23513	24,7955	117,90
12,6	3,72	1,47	1,6	-0,28	30,13517	24,6945	122,03
12,8	3,71	1,50	1,8	-0,29	30,81020	24,5935	125,28
13	3,70	1,55	2	-0,31	31,93525	24,4925	130,39
13,2	3,68	1,61	2,2	-0,33	33,28531	24,3915	136,46
13,4	3,66	1,63	2,4	-0,34	33,73533	24,2905	138,88
13,6	3,64	1,67	2,6	-0,36	34,63537	24,1895	143,18
13,8	3,62	1,69	2,8	-0,38	35,08539	24,0885	145,65
14	3,62	1,70	3	-0,39	35,31040	23,9875	147,20
14,2	3,60	1,73	3,2	-0,40	35,98543	23,8865	150,65
14,4	3,59	1,76	3,4	-0,41	36,66046	23,7855	154,13
14,6	3,58	1,77	3,6	-0,42	36,88547	23,6845	155,74
14,8	3,57	1,79	3,8	-0,43	37,33549	23,5835	158,31
15	3,57	1,80	4	-0,43	37,56050	23,4825	159,95
15,2	3,57	1,84	4,2	-0,44	38,46054	23,3815	164,49
15,4	3,56	1,84	4,4	-0,44	38,46054	23,2805	165,20
15,6	3,55	1,85	4,6	-0,45	38,68555	23,1795	166,90
15,8	3,55	1,85	4,8	-0,45	38,68555	23,0785	167,63
16	3,54	1,87	5	-0,46	39,13557	22,9775	170,32
16,2	3,54	1,87	5,2	-0,46	39,13557	22,8765	171,07
16,4	3,53	1,87	5,4	-0,47	39,13557	22,7755	171,83
16,6	3,52	1,86	5,6	-0,48	38,91056	22,6745	171,60
16,8	3,52	1,86	5,8	-0,48	38,91056	22,5735	172,37
17	3,52	1,90	6	-0,48	39,81060	22,4725	177,15
17,2	3,52	1,92	6,2	-0,48	40,26062	22,3715	179,96
17,4	3,52	1,93	6,4	-0,48	40,48563	22,2705	181,79
17,6	3,52	1,92	6,6	-0,48	40,26062	22,1695	181,60
17,8	3,51	1,98	6,8	-0,49	41,61068	22,0685	188,55
18	3,51	2,02	7	-0,49	42,51072	21,9675	193,52
18,2	3,50	2,06	7,2	-0,50	43,41076	21,8665	198,53
18,4	3,50	2,08	7,4	-0,51	43,86078	21,7655	201,52
18,6	3,50	2,11	7,6	-0,51	44,53581	21,6645	205,57
18,8	3,49	2,16	7,8	-0,51	45,66086	21,5635	211,75
19	3,49	2,19	8	-0,51	46,33589	21,4625	215,89
19,2	3,49	2,18	8,2	-0,51	46,11088	21,3615	215,86
19,4	3,49	2,17	8,4	-0,51	45,88587	21,2605	215,83
19,6	3,49	2,20	8,6	-0,51	46,56090	21,1595	220,05
19,8	3,49	2,27	8,8	-0,52	48,13597	21,0585	228,58
20	3,49	2,30	9	-0,52	48,81100	20,9575	232,90
20,2	3,49	2,31	9,2	-0,52	49,03601	20,8565	235,11
20,4	3,49	2,31	9,4	-0,52	49,03601	20,7555	236,26
20,6	3,49	2,34	9,6	-0,52	49,71104	20,6545	240,68
20,8	3,48	2,30	9,8	-0,52	48,81100	20,5535	237,48
21	3,47	2,39	10	-0,54	50,83609	20,4525	248,56

Resistência ao cisalhamento nas areias: efeito da natureza do grão e da compactidade.

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJUÍ/RS							
Local:	Ijuí	Amostra:	Areia artificial compacta 1				
Data:	07/10/10					h ot (%):	10,00
Carga normal (kgf):	0,65					Pressão vertical (kPa):	30,00
Volume (cm³):	50,24					Peso da amostra (g):	92,43
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ_d (kN/m³):	16,70
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ_n (kN/m³):	18,40
						$\gamma_{d_{m\acute{a}x}}$ (kN/m³):	16,70
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		57	57				
Peso da cápsula (g):		30,99	30,99				
Cáp. + solo úmido (g):		136,9	134,4				
Cáp. + solo seco (g):		127,36	120,5				
Teor de umidade médio (%):		12,71					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm²)	Tensão (kPa)
11	4,00	0,22	0	0,00		25,5025	0,00
11,2	3,98	0,32	0,2	-0,02	4,25902	25,4015	16,77
11,4	3,98	0,39	0,4	-0,02	5,83409	25,3005	23,06
11,6	3,98	0,43	0,6	-0,02	6,73413	25,1995	26,72
11,8	3,99	0,47	0,8	-0,02	7,63417	25,0985	30,42
12	3,98	0,49	1	-0,02	8,08419	24,9975	32,34
12,2	3,98	0,52	1,2	-0,02	8,75922	24,8965	35,18
12,4	4,01	0,52	1,4	0,01	8,75922	24,7955	35,33
12,6	4,02	0,53	1,6	0,02	8,98423	24,6945	36,38
12,8	4,02	0,53	1,8	0,02	8,98423	24,5935	36,53
13	4,02	0,53	2	0,02	8,98423	24,4925	36,68
13,2	4,02	0,55	2,2	0,02	9,43425	24,3915	38,68
13,4	4,02	0,55	2,4	0,02	9,43425	24,2905	38,84
13,6	4,02	0,54	2,6	0,02	9,20924	24,1895	38,07
13,8	4,02	0,54	2,8	0,02	9,20924	24,0885	38,23
14	4,02	0,54	3	0,02	9,20924	23,9875	38,39
14,2	4,02	0,54	3,2	0,02	9,20924	23,8865	38,55
14,4	4,12	0,55	3,4	0,12	9,43425	23,7855	39,66
14,6	4,12	0,55	3,6	0,12	9,43425	23,6845	39,83
14,8	4,12	0,54	3,8	0,12	9,20924	23,5835	39,05
15	4,15	0,54	4	0,15	9,20924	23,4825	39,22
15,2	4,17	0,55	4,2	0,17	9,43425	23,3815	40,35
15,4	4,17	0,54	4,4	0,17	9,20924	23,2805	39,56
15,6	4,21	0,55	4,6	0,21	9,43425	23,1795	40,70
15,8	4,22	0,53	4,8	0,22	8,98423	23,0785	38,93
16	4,24	0,52	5	0,24	8,75922	22,9775	38,12
16,2	4,27	0,53	5,2	0,27	8,98423	22,8765	39,27
16,4	4,28	0,53	5,4	0,28	8,98423	22,7755	39,45
16,6	4,30	0,53	5,6	0,30	8,98423	22,6745	39,62
16,8	4,30	0,53	5,8	0,30	8,98423	22,5735	39,80
17	4,31	0,53	6	0,31	8,98423	22,4725	39,98
17,2	4,33	0,55	6,2	0,33	9,43425	22,3715	42,17
17,4	4,35	0,53	6,4	0,35	8,98423	22,2705	40,34
17,6	4,36	0,55	6,6	0,36	9,43425	22,1695	42,56
17,8	4,38	0,54	6,8	0,38	9,20924	22,0685	41,73
18	4,39	0,55	7	0,39	9,43425	21,9675	42,95
18,2	4,41	0,56	7,2	0,41	9,65926	21,8665	44,17
18,4	4,43	0,55	7,4	0,43	9,43425	21,7655	43,34
18,6	4,45	0,57	7,6	0,45	9,88427	21,6645	45,62
18,8	4,46	0,57	7,8	0,46	9,88427	21,5635	45,84
19	4,45	0,57	8	0,45	9,88427	21,4625	46,05
19,2	4,51	0,57	8,2	0,51	9,88427	21,3615	46,27
19,4	4,53	0,55	8,4	0,53	9,43425	21,2605	44,37
19,6	4,55	0,55	8,6	0,55	9,43425	21,1595	44,59
19,8	4,56	0,55	8,8	0,56	9,43425	21,0585	44,80
20	4,58	0,55	9	0,58	9,43425	20,9575	45,02
20,2	4,59	0,55	9,2	0,59	9,43425	20,8565	45,23
20,4	4,60	0,55	9,4	0,60	9,43425	20,7555	45,45
20,6	4,62	0,54	9,6	0,62	9,20924	20,6545	44,59
20,8	4,63	0,56	9,8	0,63	9,65926	20,5535	47,00
21	4,64	0,56	10	0,64	9,65926	20,4525	47,23

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIÚÍ/RS							
Local:	ljuí	Amostra:	Areia artificial compacta 2				
Data:	07/10/10					h ot (%):	10,00
Carga normal (kgf):	8,30					Pressão vertical (kPa):	60,00
Volume (cm³):	50,24					Peso da amostra (g):	92,43
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ_d (kN/m³):	16,70
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ_n (kN/m³):	18,40
						$\gamma_{d_{max}}$ (kN/m³):	16,70
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		53	53				
Peso da cápsula (g):		30,88	30,88				
Cáp. + solo úmido (g):		137,88	133,91				
Cáp. + solo seco (g):		126,89	120,33				
Teor de umidade médio (%):		13,31					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm²)	Tensão (kPa)
11	5,00	0,33	0	0,00		25,5025	0,00
11,2	4,99	0,45	0,2	-0,01	7,18415	25,4015	28,28
11,4	4,96	0,48	0,4	-0,04	7,85918	25,3005	31,06
11,6	4,92	0,49	0,6	-0,08	8,08419	25,1995	32,08
11,8	4,89	0,51	0,8	-0,11	8,53421	25,0985	34,00
12	4,87	0,52	1	-0,13	8,75922	24,9975	35,04
12,2	4,84	0,52	1,2	-0,16	8,75922	24,8965	35,18
12,4	4,82	0,53	1,4	-0,19	8,98423	24,7955	36,23
12,6	4,80	0,54	1,6	-0,21	9,20924	24,6945	37,29
12,8	4,78	0,52	1,8	-0,22	8,75922	24,5935	35,62
13	4,76	0,53	2	-0,24	8,98423	24,4925	36,68
13,2	4,74	0,54	2,2	-0,26	9,20924	24,3915	37,76
13,4	4,73	0,57	2,4	-0,28	9,88427	24,2905	40,69
13,6	4,71	0,58	2,6	-0,29	10,10928	24,1895	41,79
13,8	4,70	0,58	2,8	-0,31	10,10928	24,0885	41,97
14	4,69	0,60	3	-0,32	10,5593	23,9875	44,02
14,2	4,68	0,58	3,2	-0,33	10,10928	23,8865	42,32
14,4	4,67	0,59	3,4	-0,33	10,33429	23,7855	43,45
14,6	4,66	0,60	3,6	-0,34	10,5593	23,6845	44,58
14,8	4,65	0,62	3,8	-0,35	11,00932	23,5835	46,68
15	4,63	0,63	4	-0,37	11,23433	23,4825	47,84
15,2	4,61	0,65	4,2	-0,39	11,68435	23,3815	49,97
15,4	4,61	0,65	4,4	-0,39	11,68435	23,2805	50,19
15,6	4,61	0,67	4,6	-0,39	12,13437	23,1795	52,35
15,8	4,60	0,67	4,8	-0,41	12,13437	23,0785	52,58
16	4,58	0,69	5	-0,42	12,58439	22,9775	54,77
16,2	4,58	0,69	5,2	-0,42	12,58439	22,8765	55,01
16,4	4,58	0,70	5,4	-0,43	12,8094	22,7755	56,24
16,6	4,57	0,71	5,6	-0,43	13,03441	22,6745	57,48
16,8	4,58	0,71	5,8	-0,43	13,03441	22,5735	57,74
17	4,57	0,73	6	-0,44	13,48443	22,4725	60,00
17,2	4,56	0,73	6,2	-0,44	13,48443	22,3715	60,28
17,4	4,56	0,76	6,4	-0,44	14,15946	22,2705	63,58
17,6	4,55	0,76	6,6	-0,45	14,15946	22,1695	63,87
17,8	4,56	0,76	6,8	-0,45	14,15946	22,0685	64,16
18	4,56	0,78	7	-0,45	14,60948	21,9675	66,50
18,2	4,55	0,78	7,2	-0,45	14,60948	21,8665	66,81
18,4	4,55	0,77	7,4	-0,45	14,38447	21,7655	66,09
18,6	4,55	0,78	7,6	-0,45	14,60948	21,6645	67,44
18,8	4,55	0,78	7,8	-0,45	14,60948	21,5635	67,75
19	4,55	0,80	8	-0,45	15,0595	21,4625	70,17
19,2	4,55	0,81	8,2	-0,45	15,28451	21,3615	71,55
19,4	4,55	0,81	8,4	-0,45	15,28451	21,2605	71,89
19,6	4,55	0,81	8,6	-0,45	15,28451	21,1595	72,23
19,8	4,55	0,82	8,8	-0,45	15,50952	21,0585	73,65
20	4,55	0,80	9	-0,45	15,0595	20,9575	71,86
20,2	4,55	0,81	9,2	-0,45	15,28451	20,8565	73,28
20,4	4,55	0,81	9,4	-0,45	15,28451	20,7555	73,64
20,6	4,55	0,82	9,6	-0,45	15,50952	20,6545	75,09
20,8	4,55	0,81	9,8	-0,45	15,28451	20,5535	74,36
21	4,55	0,81	10	-0,45	15,28451	20,4525	74,73

Resistência ao cisalhamento nas areias: efeito da natureza do grão e da compactidade.

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIJIÚ/RS							
Local:	Ijuí	Amostra:	Areia artificial compacta 3				
Data:	07/10/10					h ot (%):	10,00
Carga normal (kgf):	18,50					Pressão vertical (kPa):	100,00
Volume (cm³):	50,24					Peso da amostra (g):	92,43
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ_d (kN/m³):	16,70
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ_n (kN/m³):	18,40
						$\gamma_{d_{max}}$ (kN/m³):	16,70
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		99	99				
Peso da cápsula (g):		51,22	51,22				
Cáp. + solo úmido (g):		157,16	153,16				
Cáp. + solo seco (g):		147,25	140,27				
Teor de umidade médio (%):		12,40					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm²)	Tensão (kPa)
11	4,00	0,33	0	0,00		25,5025	0,00
11,2	3,99	0,59	0,2	-0,01	10,33429	25,4015	40,68
11,4	3,96	0,85	0,4	-0,04	16,18455	25,3005	63,97
11,6	3,96	0,92	0,6	-0,04	17,75962	25,1995	70,48
11,8	3,95	0,99	0,8	-0,05	19,33469	25,0985	77,04
12	3,95	1,08	1	-0,05	21,35978	24,9975	85,45
12,2	3,95	1,12	1,2	-0,05	22,25982	24,8965	89,41
12,4	3,95	1,16	1,4	-0,05	23,15986	24,7955	93,40
12,6	3,95	1,22	1,6	-0,05	24,50992	24,6945	99,25
12,8	3,96	1,27	1,8	-0,04	25,63497	24,5935	104,23
13	3,96	1,28	2	-0,04	25,85998	24,4925	105,58
13,2	3,98	1,31	2,2	-0,02	26,53501	24,3915	108,79
13,4	4,00	1,33	2,4	0,00	26,98503	24,2905	111,09
13,6	4,00	1,31	2,6	0,00	26,53501	24,1895	109,70
13,8	4,01	1,30	2,8	0,01	26,31000	24,0885	109,22
14	4,02	1,31	3	0,02	26,53501	23,9875	110,62
14,2	4,04	1,31	3,2	0,04	26,53501	23,8865	111,09
14,4	4,05	1,31	3,4	0,05	26,53501	23,7855	111,56
14,6	4,05	1,31	3,6	0,05	26,53501	23,6845	112,04
14,8	4,06	1,32	3,8	0,06	26,76002	23,5835	113,47
15	4,07	1,32	4	0,07	26,76002	23,4825	113,96
15,2	4,08	1,32	4,2	0,08	26,76002	23,3815	114,45
15,4	4,09	1,31	4,4	0,09	26,53501	23,2805	113,98
15,6	4,10	1,33	4,6	0,10	26,98503	23,1795	116,42
15,8	4,12	1,34	4,8	0,12	27,21004	23,0785	117,90
16	4,12	1,34	5	0,12	27,21004	22,9775	118,42
16,2	4,14	1,34	5,2	0,14	27,21004	22,8765	118,94
16,4	4,14	1,33	5,4	0,14	26,98503	22,7755	118,48
16,6	4,15	1,33	5,6	0,15	26,98503	22,6745	119,01
16,8	4,15	1,31	5,8	0,15	26,53501	22,5735	117,55
17	4,16	1,30	6	0,16	26,31000	22,4725	117,08
17,2	4,17	1,27	6,2	0,17	25,63497	22,3715	114,59
17,4	4,17	1,28	6,4	0,17	25,85998	22,2705	116,12
17,6	4,19	1,28	6,6	0,19	25,85998	22,1695	116,65
17,8	4,20	1,28	6,8	0,20	25,85998	22,0685	117,18
18	4,21	1,27	7	0,21	25,63497	21,9675	116,69
18,2	4,22	1,27	7,2	0,22	25,63497	21,8665	117,23
18,4	4,22	1,28	7,4	0,22	25,85998	21,7655	118,81
18,6	4,23	1,29	7,6	0,23	26,08499	21,6645	120,40
18,8	4,23	1,26	7,8	0,23	25,40996	21,5635	117,84
19	4,24	1,27	8	0,24	25,63497	21,4625	119,44
19,2	4,25	1,30	8,2	0,25	26,31000	21,3615	123,17
19,4	4,24	1,31	8,4	0,24	26,53501	21,2605	124,81
19,6	4,24	1,31	8,6	0,24	26,53501	21,1595	125,40
19,8	4,23	1,30	8,8	0,23	26,31000	21,0585	124,94
20	4,23	1,32	9	0,23	26,76002	20,9575	127,69
20,2	4,23	1,33	9,2	0,23	26,98503	20,8565	129,38
20,4	4,23	1,34	9,4	0,23	27,21004	20,7555	131,10
20,6	4,23	1,33	9,6	0,23	26,98503	20,6545	130,65
20,8	4,23	1,34	9,8	0,23	27,21004	20,5535	132,39
21	4,23	1,36	10	0,23	27,66006	20,4525	135,24

ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO							
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIÚ/RS							
Local:	Ijuí	Amostra:	Areia artificial compacta 4				
Data:	08/10/10					h ot (%):	10,00
Carga normal (kgf):	44,00					Pressão vertical (kPa):	200,00
Volume (cm³):	50,24					Peso da amostra (g):	92,43
Velocidade do ensaio (mm/min):	0,09					γ_d (kN/m³):	16,70
Compr./Larg./Altura da amostra (cm):	1,97x5,05x5,05					γ_n (kN/m³):	18,40
						$\gamma_{d_{max}}$ (kN/m³):	16,70
						GC(%):	100,0
Condições do ensaio:	Natural ()	Inundado (X)	Residual ()				
Determinação da umidade:		ANTES	DEPOIS				
Nº da cápsula:		50	50				
Peso da cápsula (g):		30,4	30,4				
Cáp. + solo úmido (g):		133,95	133,68				
Cáp. + solo seco (g):		126,54	120,66				
Teor de umidade médio (%):		11,07					
Leitura no aparelho			DADOS TRABALHADOS				
Dh	Dv	D Anel	Dh (mm)	Dv (mm)	D Anel (kgf)	Área (cm²)	Tensão (kPa)
10	3,00	0,45	0	0,00		25,5025	0,00
10,2	2,99	1,06	0,2	-0,02	20,90976	25,4015	82,32
10,4	2,97	1,39	0,4	-0,03	28,33509	25,3005	111,99
10,6	2,94	1,62	0,6	-0,06	33,51032	25,1995	132,98
10,8	2,94	1,78	0,8	-0,06	37,11048	25,0985	147,86
11	2,94	1,90	1	-0,06	39,81060	24,9975	159,26
11,2	2,94	2,02	1,2	-0,06	42,51072	24,8965	170,75
11,4	2,94	2,14	1,4	-0,06	45,21084	24,7955	182,33
11,6	2,94	2,21	1,6	-0,06	46,78591	24,6945	189,46
11,8	2,94	2,27	1,8	-0,06	48,13597	24,5935	195,73
12	2,94	2,33	2	-0,06	49,48603	24,4925	202,05
12,2	2,94	2,38	2,2	-0,06	50,61108	24,3915	207,49
12,4	2,94	2,42	2,4	-0,06	51,51112	24,2905	212,06
12,6	2,95	2,46	2,6	-0,06	52,41116	24,1895	216,67
12,8	2,95	2,47	2,8	-0,05	52,63617	24,0885	218,51
13	2,96	2,49	3	-0,04	53,08619	23,9875	221,31
13,2	2,97	2,51	3,2	-0,04	53,53621	23,8865	224,13
13,4	2,97	2,49	3,4	-0,03	53,08619	23,7855	223,19
13,6	2,98	2,53	3,6	-0,02	53,98623	23,6845	227,94
13,8	2,98	2,52	3,8	-0,02	53,76122	23,5835	227,96
14	2,98	2,49	4	-0,02	53,08619	23,4825	226,07
14,2	2,99	2,52	4,2	-0,01	53,76122	23,3815	229,93
14,4	3,00	2,53	4,4	0,00	53,98623	23,2805	231,89
14,6	3,01	2,51	4,6	0,00	53,53621	23,1795	230,96
14,8	3,01	2,50	4,8	0,01	53,31120	23,0785	231,00
15	3,02	2,51	5	0,02	53,53621	22,9775	232,99
15,2	3,03	2,49	5,2	0,03	53,08619	22,8765	232,06
15,4	3,05	2,51	5,4	0,04	53,53621	22,7755	235,06
15,6	3,05	2,46	5,6	0,05	52,41116	22,6745	231,15
15,8	3,06	2,46	5,8	0,06	52,41116	22,5735	232,18
16	3,06	2,45	6	0,06	52,18615	22,4725	232,22
16,2	3,06	2,42	6,2	0,06	51,51112	22,3715	230,25
16,4	3,06	2,44	6,4	0,06	51,96114	22,2705	233,32
16,6	3,06	2,41	6,6	0,06	51,28611	22,1695	231,34
16,8	3,07	2,42	6,8	0,07	51,51112	22,0685	233,41
17	3,07	2,41	7	0,07	51,28611	21,9675	233,46
17,2	3,07	2,39	7,2	0,07	50,83609	21,8665	232,48
17,4	3,07	2,40	7,4	0,07	51,06110	21,7655	234,60
17,6	3,07	2,41	7,6	0,07	51,28611	21,6645	236,73
17,8	3,07	2,40	7,8	0,07	51,06110	21,5635	236,79
18	3,07	2,35	8	0,07	49,93605	21,4625	232,67
18,2	3,07	2,35	8,2	0,07	49,93605	21,3615	233,77
18,4	3,07	2,32	8,4	0,07	49,26102	21,2605	231,70
18,6	3,07	2,34	8,6	0,07	49,71104	21,1595	234,93
18,8	3,07	2,38	8,8	0,07	50,61108	21,0585	240,34
19	3,07	2,37	9	0,07	50,38607	20,9575	240,42
19,2	3,07	2,40	9,2	0,06	51,06110	20,8565	244,82
19,4	3,07	2,42	9,4	0,06	51,51112	20,7555	248,18
19,6	3,06	2,40	9,6	0,06	51,06110	20,6545	247,22
19,8	3,06	2,46	9,8	0,06	52,41116	20,5535	255,00
20	3,06	2,46	10	0,06	52,41116	20,4525	256,26

Resistência ao cisalhamento nas areias: efeito da natureza do grão e da compactidade.