

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
ANDRÉ ALEXANDRE GOMES FAZIONI
RUDIMAR FERANDIN

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO SOLO DE CASCAVEL/PR QUANTO AO
CISALHAMENTO COM ADIÇÃO DE AREIA FINA E MÉDIA**

CASCAVEL - PR
2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
ANDRÉ ALEXANDRE GOMES FAZIONI
RUDIMAR FERANDIN

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO SOLO DE CASCAVEL/PR QUANTO AO
CISALHAMENTO COM ADIÇÃO DE AREIA FINA E MÉDIA**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Orientador: Professor Mestre Eng. Civil Maycon André de Almeida

CASCAVEL - PR

2017

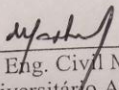
CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

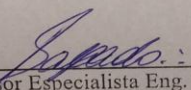
**ANDRÉ ALEXANDRE GOMES FAZIONI
RUDIMAR FERANDIN**

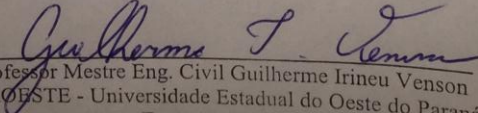
**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO SOLO DE CASCAVEL/PR QUANTO AO
CISALHAMENTO COM ADIÇÃO DE AREIA FINA E MÉDIA**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor Mestre Eng. Civil Maycon André de Almeida.

BANCA EXAMINADORA


Orientador Prof. Mestre Eng. Civil Maycon André de Almeida
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenharia Civil


Professor Especialista Eng. Civil Lincoln Salgado
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenharia Civil


Professor Mestre Eng. Civil Guilherme Irineu Venson
UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Engenharia Civil

Cascavel 22, de junho de 2017.

DEDICATÓRIA

Dedicamos carinhosamente a conclusão deste trabalho às pessoas que sempre estiveram ao nosso lado.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte suprema de todo saber.

À família, pela confiança depositada.

Ao professor Orientador Mestre Eng. Civil Maycon André de Almeida, pela atenção e valiosa orientação de conteúdo.

Aos que colaboraram com suas críticas e sugestões para a realização deste trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização desta pesquisa.

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo sobre a adição de diferentes teores de areia em amostras de solo da região de Cascavel-PR, com intuito de melhorar a resistência ao cisalhamento a partir da ampliação dos valores de coesão e ângulo de atrito entre as partículas, através de ensaios triaxiais em corpo de prova moldados em laboratório. Ademais, comparar os resultados obtidos com adição de areia fina e média com solos aditivados com cal, cimento e pó de casca de arroz. Para alcançar os objetivos propostos, foram realizados ensaios triaxial rápido adensado não drenado com medida de pressão neutra de amostras de solo coletados no primeiro metro de solo do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz. Sendo ensaiados os valores de 5%, 7,5%, 10% e 12,5% para areia fina e de 5% 7,5% e 10% para areia média com o teor de umidade ótimo em 31,5%. Baseado nos resultados é possível comprovar que as areias influenciaram de forma positiva no comportamento da resistência ao cisalhamento do solo quando comparado em seu estado natural. Sendo a adição de areia fina ao solo eleva o ângulo de atrito havendo, consequentemente, a redução da coesão ao adicionar porcentagens maiores do material ao solo. Enquanto que ao adicionar areia média verificou-se o oposto aos ensaios com areia fina. Ocorrendo o aumento da coesão e redução do ângulo de atrito. Sendo que em quantidades iniciais apresenta um elevado ângulo de atrito que se reduz ao introduzir porcentagem maiores. Ainda, observar-se com o trabalho que a mistura solo – areia pode ser utilizável para a construção civil em obras de terra, tais como muro de arrimo, estabilização de taludes, entre outros.

Palavras-chave: Ensaio Triaxial. Ângulo de Atrito. Coesão. Areia media. Areia Fina

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Perfil típico de solo residual	17
Figura 02: Solos lateríticos no território brasileiro.....	19
Figura 03: Esquemas referentes ao atrito entre dois corpos.	23
Figura 04: Transmissão de forças entre partículas de areias e de argilas	24
Figura 05: Esquema do ensaio de compressão triaxial.....	25
Figura 06: Centro Experimental de Engenharia da FAG (CEEF) do Centro Universitário Assis Gurgacz.....	27
Figura 07: Curva granulométrica dos materiais	28
Figura 08: Equipamento “Harvard miniatura” e conjunto molde cilíndrico	29
Figura 09: Mistura do Solo, areia e água.....	30
Figura 10: Extração do corpo de prova	31
Figura 11: Corpos de prova armazenados e identificados	31
Figura 12: Corpo de prova dentro de câmara de compressão posicionada na prensa triaxial ..	32
Figura 13: Corpo de prova após ruptura	34
Figura 14: Índices de coesão	36
Figura 15: Índices de ângulo de atrito	37
Figura 16: Comparativo de coesão entre materiais	38
Figura 17: Comparativo de ângulo de atrito entre materiais	39

LISTA DE TABELA

Tabela 01: Peso dos materiais	30
Tabela 02: Resultado dos ensaios.....	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos específicos	12
1.2 JUSTIFICATIVA	12
1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	13
1.4 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 ORIGEM E FORMAÇÃO DOS SOLOS.....	15
2.1.1 Tipos de Solos	15
2.1.1.1 Solos Residuais.....	16
2.1.1.2 Solos Transportados	17
2.1.1.3 Solos Orgânicos.....	18
2.1.1.4 Solos Lateríticos	18
2.1.1.5 Solos Colapsíveis.....	19
2.1.1.6 Solos não-saturados	20
2.1.2 Areias.....	21
2.1.2.1 Uso da areia na construção civil	21
2.1.2.2 Tipos	21
2.1.3 Resistência ao cisalhamento	22
2.1.3.1 Atrito.....	23
2.1.3.2 Coesão	24
2.1.4 Ensaios para determinação da resistência ao cisalhamento.....	25
2.1.4.1 Ensaio de compressão triaxial	25
3 METODOLOGIA.....	27
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA.....	27
3.1.1 O Solo.....	27
3.1.2 A Areia	28
3.1.3 Granulometria dos materiais.....	28
3.2 MOLDAGENS DOS CORPOS DE PROVA.....	29
3.3 PROCEDIMENTO DO ENSAIO DE COMPRESSÃO TRIAXIAL	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	35

4.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS COM AREIA FINA E MÉDIA	35
4.2 COMPARATIVO ENTRE OUTROS MATERIAIS ADICIONADOS NO MESMO SOLO.....	37
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	41
REFERÊNCIAS	42
ANEXO A - LAUDO DE SONDAÇÃO REALIZADA NO CAMPO EXPERIMENTAL DE GEOTÉCNIA DO CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ.....	44
APÊNDICE A – RESULTADO DO ENSAIO COM 5% DE AREIA FINA	45
APÊNDICE B – RESULTADO DO ENSAIO COM 7,5% DE AREIA FINA	46
APÊNDICE C – RESULTADO DO ENSAIO COM 10% DE AREIA FINA	47
APÊNDICE D – RESULTADO DO ENSAIO COM 12,5% DE AREIA FINA	48
APÊNDICE E – RESULTADO DO ENSAIO COM 5% DE AREIA MÉDIA	49
APÊNDICE F – RESULTADO DO ENSAIO COM 7,5% DE AREIA MÉDIA.....	50
APÊNDICE G – RESULTADO DO ENSAIO COM 10% DE AREIA MÉDIA.....	51

1 INTRODUÇÃO

A cidade de Cascavel se localiza no interior do estado do Paraná, na região oeste. Possui atualmente mais de 300 mil habitantes, sendo um polo econômico da região. A cidade se destaca por ser um polo universitário possuindo mais de 21 mil estudantes, e por possuir centros medicinais avançados (Portal do Município de Cascavel, 2016).

Cascavel teve um aumento populacional de aproximadamente 90 mil habitantes nos últimos 20 anos (IBGE, 2010). Em função da economia aquecida, diversos atrativos comerciais despontaram e como consequência se faz necessário o aumento de infraestrutura para acomodar a população. A pesquisa visou verificar a influência da estabilização granulométrica no solo superficial característico de Cascavel do campo experimental.

O solo em seu estado natural é composto por diversas variáveis que estão ligadas diretamente com a localização geográfica e, é comum os solos naturais não satisfazerem as exigências de um projeto geotécnico, sendo necessário o desenvolvimento de soluções alternativas para que o projeto possa ser executado (Almeida, 2005).

Uma das alternativas é o melhoramento do mesmo, com a inclusão de elementos resistentes de maneira a modificar e melhorar o seu comportamento, originando um novo solo com características de resistência e deformabilidade adequadas.

O ensaio triaxial possibilita obter parâmetros de resistência ao cisalhamento, ângulo de atrito e coesão que são dados necessários para o correto dimensionamento de projetos de taludes, muros de arrimo, aterros compactos e entre outros.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a influência da adição de areia fina e média na resistência ao cisalhamento do solo superficial laterítico, no Campo Experimental de Engenharia da FAG localizada na cidade de Cascavel – PR.

1.1.2 Objetivos específicos

a) Avaliar os efeitos da utilização de diferentes dosagens de areia ao solo laterítico, a fim de verificar o ganho de parâmetros de resistência ao cisalhamento, através de ensaios triaxiais realizados em laboratório.

b) Comparar os resultados obtidos através deste trabalho com outros já realizados com o mesmo solo, utilizando outros tipos de aditivos.

1.2 JUSTIFICATIVA

De acordo com Valinho (2005), o Brasil apresentou um aumento significativo de obras em regiões que possuem depósitos de argilas moles nos últimos anos em função disso passou-se a estudar mais sobre as propriedades geotécnicas de solos regionais. A execução de obras nestes solos requer atenção e cuidado para que o empreendimento não se torne inviável financeiramente. Apesar de ser um assunto já discutido consideravelmente, ainda há um desconforto dos projetistas no que diz respeito a rupturas e recalques não previstos.

Teixeira (2014) afirma que a estabilização de solos é uma alternativa de viabilização de projetos, onde o solo não apresenta as características ideais para a execução do projeto em si. A utilização de agregados como compostos orgânicos, bioenzimas, cimento Portland para o melhoramento de solos vem sendo empregada no âmbito da Engenharia civil.

Sales (1998) define o aperfeiçoamento do solo como a utilização de recursos físicos ou até mesmos químicos com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas dos solos. Este processo de melhoramento procura elevar a resistência do solo, reduzindo a sua compressibilidade e da sua permeabilidade.

Vargas (1977 *apud* SALES, 1998, p. 6), define que a estabilização é um processo pelo qual se submete o solo a um acréscimo de resistência a cargas ou até mesmo erosão, através da compactação, correção granulométrica e da plasticidade.

As técnicas de melhoramento de solos são de crucial importância para a resolução de problemas complexos, relacionados com os solos de fundação. Existem três grupos de modelos de estabilização do solo conforme Dias (2012, p.31):

Os métodos existentes para a estabilização de solos não são adequados para todos os tipos de solos, podendo ser divididos em três grupos. • Estabilização mecânica em

que se procura melhorar as características dos solos através de uma melhor arrumação das suas partículas sólidas e/ou recorrendo a correções da sua composição granulométrica. • Estabilização física em que as propriedades dos solos são alteradas através do uso do calor e da eletricidade. • Estabilização química em que as características dos solos são modificadas através de aditivos.

O incremento de diferentes teores de areia para que ocorra a estabilização do solo se inclui na estabilização mecânica, citado por Dias (2012). Da junção das partículas de solo e areia origina-se um novo material com propriedades diferentes e com novos parâmetros a serem estudados através de ensaios triaxiais, visando obter o ganho de resistência ao cisalhamento.

No ramo da engenharia civil a determinação da resistência de cisalhamento de um solo é de grande valia. Logo, isso gera uma necessidade de estudos sobre possíveis materiais que interferem nos valores de coesão e atrito das partículas e, consequentemente, nos parâmetros de resistência ao cisalhamento.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Qual será a influência da adição de areia fina e média na resistência ao cisalhamento do solo superficial argiloso e laterítico característico da região de Cascavel/PR?

1.4 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

Com a adição de material granular e que comprovadamente possui um atrito entre grãos superiores ao solo estudado, acredita-se que consequentemente haverá um aumento da resistência de cisalhamento do solo.

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi limitada em determinar os parâmetros de resistência através do ensaio triaxial adensado rápido de amostras de solo coletados no primeiro metro de solo do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz. Sendo ensaiados os

valores de de 5%, 7,5%, 10% e 12,5% para areia fina e de 5% 7,5% e 10% para areia média, utilizando amostras compactadas sob energia proctor normal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ORIGEM E FORMAÇÃO DOS SOLOS

De acordo com Pinto (2006), o solo é composto por partículas solidas da rocha de origem e de partículas de agua (ou outro liquido) e ar nos espaços intermediários. Ambas as partículas encontram-se livres podendo se deslocar entre si. Existem casos onde ocorre a cimentação entre estas partículas.

A formação dos solos é decorrente do intemperismo que atua sobre o material originário, causando diversas transformações físicas, químicas e incorporações orgânicas (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1973).

A formação dos solos que, em consequência, são misturas de partículas pequenas que se diferenciam pelo tamanho e pela composição química. A maior ou menor concentração de cada tipo de partícula num solo depende da composição química da rocha que lhe deu origem (PINTO, 2006).

De acordo com Pinto (2006), com as diversas obras de engenharia em execução, diferentes comportamentos dos solos surgiram, sendo necessária uma classificação em conjuntos distintos com suas propriedades características a fim de facilitar o seu entendimento.

Segundo Caputo (1996) e Pinto (2006), a primeira característica para classificação de um solo é através da sua granulometria (pedregulhos, areias, siltes e argilas). O solo é composto por partículas que de acordo com concentração de cada tipo de solo apresenta características de permeabilidade, resistência ao cisalhamento e de deformabilidade diferentes interferindo nos projetos. Devido a esses comportamentos faz-se necessário o estudo inicial das características dos grãos que constituem o solo, a fim de entender os diversos comportamentos que este pode apresentar.

2.1.1 Tipos de Solos

Segundo a NBR 6502/1995, os solos podem ser classificados de acordo com o seu diâmetro em:

- Pedregulhos: São fragmentos de rocha que possuem diâmetro superior a 2 mm. São comumente encontrados em margens de rios e em depressões preenchidas de rios.
- Areias: Possuem origem semelhante à dos pedregulhos, porém, apresentam diâmetros que variam entre 2 mm e 0,06mm. As areias são subdivididas em três classificações, podendo ser areia fina de 0,06 mm a 0,2mm, areia média de 0,2mm a 0,6mm e areia grossa de 0,6mm a 2mm. Os grãos de areia são ásperos, não apresentam plasticidade e comprimem-se rapidamente quando carregados.
- Siltes: São solos com granulometria fina, com diâmetros que variam entre 0,06 mm e 0,002 mm. Os siltes apresentam pouca ou nenhuma plasticidade.
- Argilas: São classificados como muito finos, pois suas partículas possuem diâmetros inferiores a 0,002 mm. As argilas possuem como característica uma boa plasticidade e elevada resistência mecânica quando secas.

2.1.1.1 Solos Residuais

De acordo com Pinto (2006), os solos residuais são originados da decomposição das rochas que se encontram no local de formação do solo.

Para Pinto (2006, p. 61)

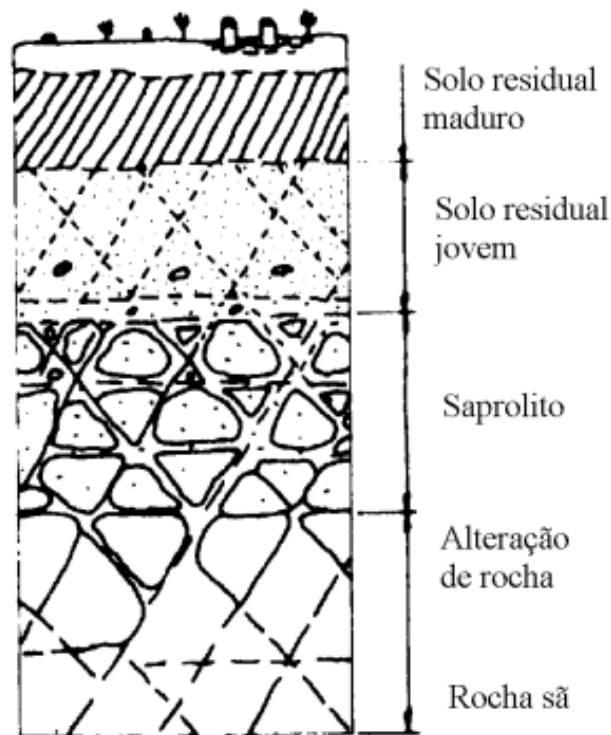
[...] é de interesse a indicação da rocha-mãe, pois ela condiciona entre outras coisas, a própria composição física. Solos residuais de basalto são predominantemente argilosos, os de gnaiss são siltosos e os de arenito apresentam teores aproximadamente iguais de areia média, silte e argila, etc.[...].

Segundo Bueno e Vilar (1979, p. 8).

[...] a separação entre a rocha matriz e o solo residual não é nítida, mas sim gradual. Pode-se distinguir pelas duas faixas distintas entre o solo e a rocha: a primeira sobre a rocha, denominada rocha alterada ou rocha decomposta e a segunda, logo abaixo chamada de solo de alteração. [...]

Observa-se que no local onde se encontra este tipo de solo é possível constatar uma granulometria bem graduada, contendo solos de tipo grão, médio e fino. A Figura 01 ilustra um perfil de um solo residual (AZEVEDO,2010).

Figura 01: Perfil típico de solo residual



(Fonte: MACHADO, 1997).

Matacões podem ser considerados como grandes blocos rochosos que ainda não estão decompostos, possuindo cantos arredondados de diversas dimensões. Sendo originários da rocha sã através do intemperismo ou movimentos de massas que resultam na deposição do bloco (SOUZA, 2007).

2.1.1.2 Solos Transportados

Solos transportados possuem características do solo de outro local, existindo um agente transportador para que isso ocorra (PINTO, 2006), esse agente realiza a seleção do grão que irá transportar conforme sua capacidade de transporte, quebrando ou até mesmo desgastando as partículas, resultando assim um solo diferente para cada tipo de transporte realizado (MACHADO, 1997).

Conforme Machado (1997, p.12) “pode-se listar agentes de transportes, por ordem decrescente de seletividade, da seguinte forma”:

- Ventos (Solos Eólicos);
- Águas (Solos Aluvionares);

- Geleiras (Solos Glaciais)
- Gravidade (Solos Coluvionares).

2.1.1.3 Solos Orgânicos

É um tipo de solo que contém em sua composição grande quantidade de matéria originária da decomposição vegetal, em diversos estágios. Comumente localizado em locais alagados podendo ser solos argilosos ou arenosos de fácil identificação pela sua coloração escura e forte odor de material em estado de decomposição (PINTO, 2006).

Normalmente este solo se localiza em regiões litorâneas a rios, baixadas litorâneas e depressões continentais (BUENO; VILAR, 1979).

2.1.1.4 Solos Lateríticos

Segundo Schellmann (1982), e Melfi (1997), o termo laterita pode ser definido como: “acumulações superficiais ou subsuperficiais de produtos provenientes do intenso intemperismo de rochas, desenvolvidos sob condições favoráveis a uma maior mobilidade dos elementos alcalinos, alcalinos terrosos e sílica e imobilização de ferro e de alumínio”.

A laterização é uma característica de regiões onde ocorrem longos períodos chuvosos com intervalos para períodos de estiagem. Realizando a lavagem do solo e removendo a sílica coloidal da superfície. Este processo resulta em um solo superficial com coloração vermelha decorrente das altas concentrações de óxidos de ferro e alumínio (BUENO; VILAR, 1979).

Os solos lateríticos possuem como características principais: a elevada porosidade e devido ao intenso processo de intemperismo apresentam alto teor de material fino, em seu estado natural indica grande resistência, porém, quando sob processo de saturação, perde repentinamente sua resistência.

No Brasil, o solo laterítico está localizado em grande parte do território nacional, conforme ilustrado na Figura 02, sendo possível verificar, que na região oeste do Paraná há predominância deste tipo de solo (NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

Figura 02: Solos lateríticos no território brasileiro



(Fonte: NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

2.1.1.5 Solos Colapsíveis

Denominam-se colapsíveis os solos de grande porosidade, formados tanto por areias, como por argilas que, ao entrar em contato com a água, ocasionam o rompimento da ligação entre suas partículas, apresenta alteração imediata de sua estrutura, e, por consequência, ocasiona um recalque bastante drástico e perigoso (REBELLO, 2008).

Segundo Pinto (2006), são solos não saturados que, quando submetidos a um aumento de umidade, demonstram considerável e rápida compressão, sem que varie a tensão total a que estejam submetidos.

Para Caputo (1996) o solo colapsível se caracteriza por possuir uma elevada porosidade e quando umedecido, sua estrutura entra em colapso, originando recalques sobre as obras.

O colapso ocorre devido à destruição dos mecanismos capilares, responsáveis pela tensão de sucção, ou a um amolecimento do cimento natural, que mantinha as partículas e as agregações de partículas unidas. Tal fenômeno está intimamente associado ao de perda de resistência dos solos não saturados (CAPUTO, 1988).

Esse tipo de solo é comumente encontrado em estado não saturado, possuindo alto índice de vazios, o que indica sua baixa capacidade de carga. Quando é realizado o processo de compactação, sua capacidade de carga se eleva, sendo normalmente encontrado em pavimentação e em aterros (CAPUTO, 1996).

2.1.1.6 Solos não-saturados

Em solos não saturados, a água preenche parcialmente os vazios, gerando tensões negativas no fluido, denominadas sucção. Nestas condições, o solo apresenta uma coesão aparente, que pode ser alterada em virtude de variações na umidade, quando encontrado sob a condição de não saturação situa-se na camada acima do lençol freático. A umidade desta região decorre de processos de infiltração da água de chuva ou por ascensão através dos vazios (TEIXEIRA, 1994).

Segundo Pinto (2006, p 346), nas argilas não saturadas, os vazios estão parcialmente ocupados pelo ar, que é muito mais compreensível do que a estrutura sólida do solo. Neste caso, qualquer carregamento provoca uma compressão, que é uma indicação de que parte da pressão aplicada é suportada pelo solo.

Ademais, conforme o autor, nestes solos os volumes ocupados pelo ar e pela água podem manifestar os seguintes arranjos:

- a) Quando o grau de saturação é elevado acima de 85% ou 90% as bolhas de ar totalmente envolvidas pela água e pelas partículas sólidas não se comunicam;
- b) O ar, assim como a água são intercomunicados, formando canais que se entrelaçam no espaço;
- c) Quando o ar está todo intercomunicado, a água concentra-se nos contatos entre as partículas, o que ocorre quando o grau de saturação é muito baixo.

Nos dois últimos arranjos, quando o solo estiver exposto à atmosfera, a pressão neutra no ar será a própria pressão atmosférica e a da água será negativa, sendo a pressão neutra negativa da água que provoca a tensão efetiva do solo (PINTO, 2006).

2.1.2 Areias

2.1.2.1 Uso da areia na construção civil

Utiliza-se comumente o termo “agregado para construção” para identificar um material derivado do setor mineral, na construção civil sendo dividido basicamente em areia e brita (DNPM, 2001).

Areia é um agregado miúdo, resultado da fragmentação de rochas como granito, gnaiss, basalto, sílica, quartzo e calcário. Esse agregado é amplamente utilizado para fabricação de Concreto, podendo ser obtido por meios naturais, como em leitos de rios, ou industrializada, decorrente de britagem (DINIZ, 2013).

Segundo Pinto (2006), a areia é um material granular com reduzidas porcentagens de finos, que não interferem no comportamento conjunto. São bastante permeáveis, e por esse motivo, a resistência das areias é geralmente definida em termos de tensão efetiva. Sendo a resistência ao cisalhamento das areias determinado tanto por ensaios de cisalhamento direto quanto em ensaios de compressão triaxial.

De acordo com Ministério de Minas e Energia, areia é uma substância natural, oriunda da desagregação de rochas, que, pelas normas da ABNT, apresentam granulometria, variando entre 0,06 e 2 milímetros. Praticamente, todas as rochas são passíveis de resultar em areias pela desagregação mecânica, contudo, aquelas com alto teor de quartzo, são mais favoráveis (QUARESMA, 2009).

As propriedades físicas e químicas dos agregados e das matérias ligantes são fundamentais para as obras em que são utilizados, como por exemplo, o concreto. Em média, o concreto industrial é composto por 42% de agregado graúdo (brita), 40% de areia, 10% de cimento, 7% de água e 1% de aditivos químicos. Observa-se que cerca de 70% do concreto é constituído de agregados (DNPM, 2001).

2.1.2.2 Tipos

Segundo Machado (1997), as areias são distinguidas pelo formato dos grãos que podem ser angulares, subangular ou até mesmo arredondados, neste caso, devido ao transporte por rios ou ventos. Este formato de grão está diretamente ligado com a quantidade de transportes

a qual foi exposto ou até mesmo o local onde ocorreu a decomposição. O transporte tende a arredondar o grão de solo, indicando quando mais redondo o grão maior foi a distância percorrida pelo mesmo.

Através da NBR 6502/95 classifica-se a areia em três grupos:

- Areia fina: diâmetro compreendido entre 0,06 mm a 0,2 mm;
- Areia média: diâmetro compreendido entre 0,2 mm a 0,6 mm;
- Areia grossa: diâmetro compreendido entre 0,6 mm a 2,0 mm

O formato que o grão apresenta tem influência no comportamento mecânico, pois é o fator que determina a maneira como a areia se encaixa gerando atrito, deslizando quando aplicado a forças externas. Entretanto esta mesma força, quando aplicada em grãos mais angulares, se torna mais susceptível ao rompimento (MACHADO, 1997).

2.1.3 Resistência ao cisalhamento

Para Caputo (1988), a propriedade dos solos em suportar cargas e conservar sua estabilidade depende da resistência ao cisalhamento do solo, quando esta resistência se excede, toda massa do solo se rompe.

Os principais fatores que influenciam a resistência do solo ao cisalhamento são a distribuição de partículas do solo, a densidade, a estrutura e o teor de água no solo (MCKYES ET AL., 1994 apud SILVA e CARVALHO, 2007, p. 854).

Nos solos de textura arenosa, a resistência ao cisalhamento depende basicamente do atrito entre as partículas, contudo, nos solos argilosos a resistência não depende só do atrito entre partículas, mas também da coesão do solo (SILVA e CARVALHO, 2007).

Pinto (2006), define que a resistência ao cisalhamento é definida como a máxima tensão de cisalhamento que o solo pode suportar sem sofrer sua ruptura.

As características quanto ao cisalhamento do solo são representadas pela coesão do solo, pelo ângulo de atrito interno e pela resistência do solo ao cisalhamento (ORTIGÃO, 1995).

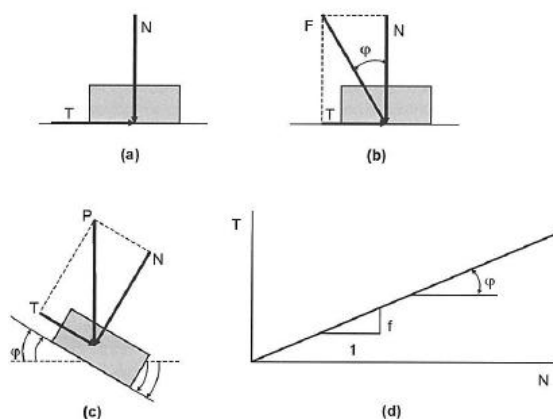
2.1.3.1 Atrito

De acordo com Pinto (2006), a resistência por atrito das partículas de um solo pode ser analogicamente assemelhada ao deslizamento de um corpo sobre uma superfície plana horizontal, como na Figura 03. Sendo N a força vertical transmitida pelo corpo, e T a força horizontal necessária para o deslizamento do corpo, esta deve ser superior à força N . Sendo f o coeficiente de atrito entre os materiais. Existindo entre a força tangencial e a força normal uma proporcionalidade, que pode ser escrita com a seguinte Equação 1:

$$T = N \times \operatorname{tg} \phi \quad (1)$$

Sendo o ϕ , ângulo de atrito, formado pela resultante de duas forças com a força normal.

Figura 03: Esquemas referentes ao atrito entre dois corpos.



(Fonte: PINTO, 2006)

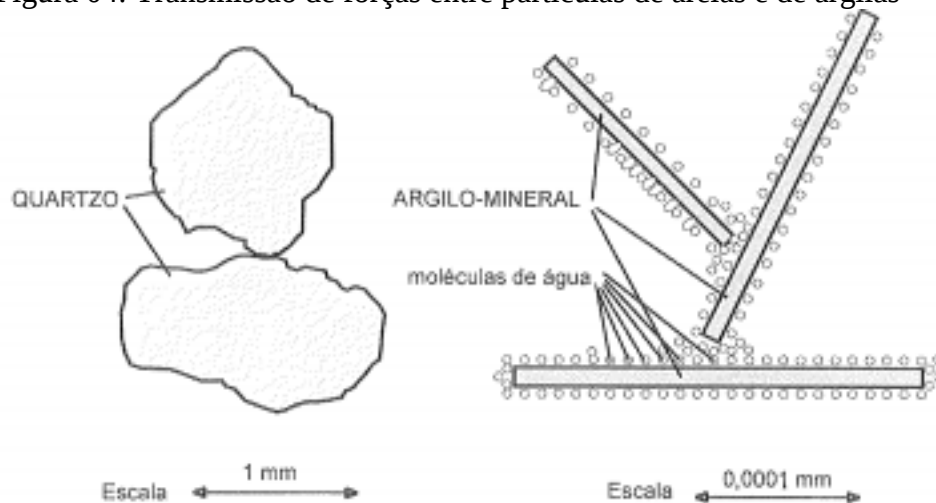
No fenômeno de atrito nos solos, o deslocamento abrange um grande número de grãos que podem deslizar entre si ou rolar uns sobre os outros, acomodando-se em vazios no percurso. As forças transmitidas nos contatos entre os grãos de areia e os grãos de argila se diferenciam pelo fato de que, entre os grãos de areia, as forças transmitidas são suficientes para expulsar a água da superfície, assim, os contatos ocorrem realmente entre os dois minerais. Enquanto, no caso das argilas, o número de partículas é imensamente maior, sendo extremamente reduzida a força transmitida em cada contato, não sendo suficientes e consequentemente gerando uma força para remover as moléculas de água (PINTO, 2006).

2.1.3.2 Coesão

A coesão do solo é à força de atração entre as superfícies de suas partículas, podendo ser real ou aparente (MULLINS 1990 apud CASTRO 2014).

A resistência ao cisalhamento dos solos ocorre basicamente devido ao atrito entre as partículas dispostas no solo. Entretanto, existe uma atração química entre essas partículas podendo provocar uma resistência independente da tensão normal que atua no plano constituindo uma coesão real, conforme mostrado na Figura 04 (PINTO, 2006).

Figura 04: Transmissão de forças entre partículas de areias e de argilas



(Fonte: PINTO, 2006)

Diversos agentes, como carbonatos, sílica e óxidos de ferro podem aumentar a coesão de um solo, o que gera uma cimentação entre as partículas (MACHADO e MACHADO, 1997).

A coesão de um solo pode ser classificada como real ou aparente, sendo descritas a seguir:

Coesão real: Essa coesão é derivada principalmente das cimentações presentes entre partículas, resultando da atração entre partículas próximas por forças eletrostáticas (SILVA; CARVALHO, 2007). Sendo muito comum em solos lateríticos e/ou solos argilosos/ siltosos.

Coesão aparente: A coesão aparente é resultado da tensão superficial da água formada dentro dos capilares do solo, originando meniscos de água entre as partículas dos solos parcialmente saturados, que como consequências aproximam-se entre si. A coesão aparente

constitui uma parcela da resistência ao cisalhamento de solos parcialmente saturados (SILVA; CARVALHO, 2007).

Verifica-se o conceito de coesão aparente na utilização para estabilização de taludes de areia úmida e na construção de castelos com areia úmida nas praias (BUENO; VILAR, 1979).

2.1.4 Ensaios para determinação da resistência ao cisalhamento

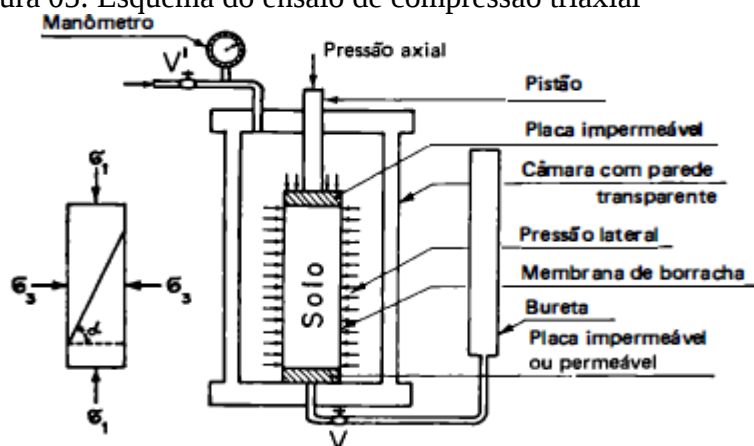
Para a determinação da resistência de cisalhamento de qualquer solo, é necessário ter seu ângulo de atrito e da coesão. Os ensaios mais comuns são os ensaios de cisalhamento direto e o triaxial (GONÇALVES; MARINHO; FUTA; 2014).

2.1.4.1 Ensaio de compressão triaxial

Este ensaio é teoricamente mais perfeito que o de cisalhamento direto e, atualmente, o mais usado (CAPUTO, 1996).

De acordo com Pinto (2006), os ensaios triaxiais são executados em aparelhos ilustrados na Figura 06, onde é constituído por uma câmara cilíndrica de paredes transparentes. No seu interior é colocado uma amostra de solo envolvida por uma membrana de borracha e em suas extremidades uma pedra porosa. A base superior do cilindro é composta por um pistão que através de uma placa rígida aplica uma pressão a amostra. Esta câmara é preenchida com um líquido, sendo normalmente utilizado água comum para se aplicar uma pressão que atua sobre a base da amostra.

Figura 05: Esquema do ensaio de compressão triaxial



Fonte: PINTO (2006).

O carregamento axial é aplicado por meio de um pistão que penetra na câmara (ensaio com carga controlada) ou coloca-se a câmara numa prensa que se desloca para cima e pressiona o pistão (ensaio de deformação controlada). A carga é medida através de um anel dinamométrico externo, ou por uma célula de carga intercalada no pistão (PINTO, 2006).

De acordo com Pinto (2006), existem três modalidades de ensaios triaxiais, que se difere em relação às condições de drenagem e adensamento:

- a) Ensaio adensado drenado, ou *consolidated drained* (CD): nesse ensaio, há permanente drenagem do corpo de prova, sendo necessário que o corpo de prova fique completamente adensado, e que haja dissipação total da tensão neutra, para então ser aplicado o carregamento axial. Ademais, as tensões totais aplicadas indicam valores de tensão efetiva, já que a pressão neutra é praticamente nula. O ensaio também é denominado lento devido ao tempo necessário para a dissipação da pressão neutra, que em argilas pode demorar mais de 20 dias.
- b) Ensaio adensado não drenado, ou *consolidated undrained* (CU): nesse ensaio, o corpo de prova é parcialmente adensado pelas tensões hidrostáticas, em seguida, as válvulas que permitem a saída de água são fechadas, para que não se perca a condição pré-estabelecida, posteriormente, é feita a aplicação do carregamento axial, rompendo a amostra. Neste ensaio, é possível fazer a medição da tensão neutra durante o processo. Sendo possível determinar as pressões efetivas e determinar a envoltória de resistência em um prazo muito menor que no CD.
- c) Ensaio não adensado não drenado, ou *unconsolidated undrained* (UU): no ensaio rápido, o corpo de prova é submetido à tensão confinante e a carga axial, sem drenagem. No ensaio UU, o teor de umidade permanece constante, e quando saturada não possui alteração no volume (adensado). Também, conhecido como ensaio rápido, pois não requer tempo de drenagem.

3 METODOLOGIA

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

3.1.1 O Solo

O solo utilizado para a realização dos ensaios foi coletado da cota -1 metro do Centro Experimental de Engenharia da FAG (CEEF) do Centro Universitário Assis Gurgacz (Figura 06), foi utilizado esse solo em questão, devido a aplicação do mesmo solo para diversos outros trabalhos com adição de outras matérias para seu melhoramento.

Figura 06: Centro Experimental de Engenharia da FAG (CEEF) do Centro Universitário Assis Gurgacz



(Fonte: Google Maps 2017).

Este solo é classificado como argila siltosa de cor marrom avermelhada devido a alta concentração de óxido de ferro na sua composição (DAMIN, 2012), apresentando consistência muito mole à média (Anexo A).

Descreve-se, também por ser um solo residual resultado da decomposição de rochas eruptivas onde na região e originada do basalto, possui comportamento laterítico, sendo um solo de predominância argilosa, contendo silte e areia na composição. O solo apresenta-se em condição de pré-adensamento leve pois possui um peso específico aparente seco baixo (DAMIN, 2012)

Para a realização dos ensaios triaxial adensado rápido, foram coletados aproximadamente 60 kg de solo, e classificados de acordo com a NBR 7217/87. Sendo armazenados em bandejas dentro de estufas no laboratório de Mecânica dos Solos e de Construção Civil.

3.1.2 A Areia

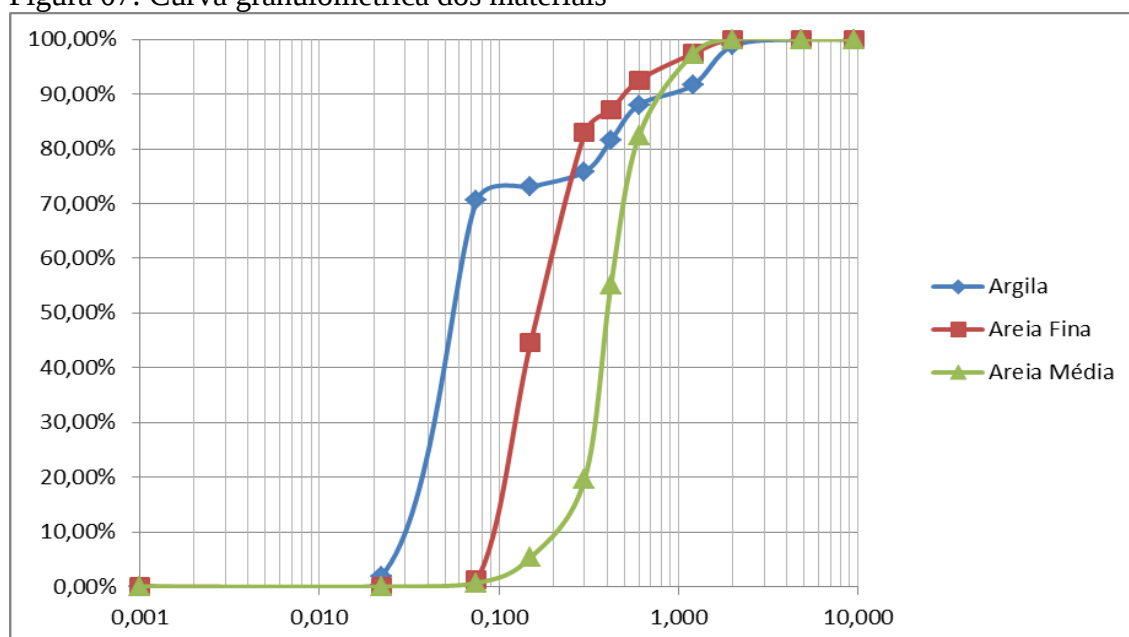
A areia utilizada foi adquirida em uma loja de materiais de construção da cidade de Cascavel-PR, sendo classificada de acordo com a NBR 7217/87.

Para a moldagem dos corpos de prova, foram separados aproximadamente 2kg de areia fina e 1.5kg de areia média, que ficaram armazenados no laboratório de Mecânica do Solos em uma bandeja dentro da estufa, a fim de evitar contato com algum outro material e manter a areia sem umidade.

3.1.3 Granulometria dos materiais

Os materiais analisados foram submetidos ao ensaio de peneiramento de acordo com a NBR 7217/87, sendo possível a elaboração da curva granulométrica dos três materiais; exposta na Figura 07.

Figura 07: Curva granulométrica dos materiais



(Fonte: Autor 2017).

3.2 MOLDAGENS DOS CORPOS DE PROVA

A moldagem dos corpos de prova que foram utilizados nos ensaios de compressão triaxial, foi realizada do método de compactação dinâmica por pisoteamento, utilizando o equipamento conhecido como Harvard Miniatura ilustrado na Figura 08.

Figura 08: Equipamento “Harvard miniatura” e conjunto molde cilíndrico



(Fonte: Autor 2017).

Segundo CONTENCO (2015):

Para corpos de prova com diâmetro de 2” e altura de 11cm, a compactação é realizada em 7 camadas, usando-se o pisoteador com sapata de $\frac{3}{4}$ ” de diâmetro e aplicando-se 50 golpes por camada. A compactação de cada camada deve ser procedida de uma ligeira escarificação da camada subjacente. (CONTENCO, pág. 09, 2015).

Depois de misturados a fim de deixar a mistura mais homogênea possível conforme Figura 09, esta mistura estava apta a ser iniciada a moldagem dos corpos de prova.

Figura 09: Mistura do Solo, areia e água.



(Fonte: Autor 2017).

Para a moldagem dos corpos de prova, os materiais foram pesados e separados conforme Tabela 01. A umidade ótima para a realização dos ensaios é de 31,5% (Volpato 2015).

Tabela 01: Peso dos materiais

% Areia	Solo (g)	Areias (g)	Água (g)
5%	1428,75	71,25	450,06
7.5%	1387,5	112,5	437,07
10%	1350	150	425,25
12.5%	1312,52	187,5	413,45

(Fonte: Autor 2017).

Após efetuar a moldagem dos corpos de prova, esses eram extraídos (Figura 10), armazenados em sacos plásticos (Figura 11) e identificados, a fim de controlar o teor de umidade.

Figura 10: Extração do corpo de prova



(Fonte: Autor 2017).

Figura 11: Corpos de prova armazenados e identificados



(Fonte: Autor 2017).

3.3 PROCEDIMENTO DO ENSAIO DE COMPRESSÃO TRIAXIAL

Para a determinação da resistência ao cisalhamento das amostras, os ensaios foram do tipo compressão triaxial consolidado não drenado (CU), pois assim, permite-se determinar a envoltória de resistência num prazo menor. (PINTO, 2006).

A velocidade para execução dos ensaios foram de 0,16mm/min fazendo com que o ensaio tivesse uma duração de aproximadamente três horas e trinta minutos.

Os ensaios foram realizados dentro do laboratório de Mecânica dos Solos II do Bloco de Engenharia no Centro Universitário Assis Gurgacz. Os materiais e os procedimentos para a execução do ensaio estão descritos a seguir:

1. Equipamentos:

- Equipamento para ensaio de compressão triaxial;
- Laptop com software compatível com a máquina de compressão triaxial;

- Membrana de látex e expansor de membrana;
- Pedras porosas;
- Papel filtro;
- “O” rings;
- Mangueira plástica com $\Phi 1/8$ ”;
- Cabeçote;
- Câmara de compressão.

2. Preparação do corpo de prova:

- Colocar sobre a base da câmara de compressão uma pedra porosa e um pedaço de papel filtro;
- Assentar o corpo de prova sobre a pedra com papel filtro e em seguida colocar uma segunda pedra porosa com papel filtro em cima do corpo de prova;
- Posicionar o cabeçote sobre a pedra porosa;
- Com auxílio do expansor, envolver o corpo de prova com a membrana de látex e fixá-la com os “O” rings;
- Encaixar a mangueira plástica na base da câmara e no cabeçote;
- Fechar e travar a câmara de compressão e enchê-la com água, retirando todo o ar através do extravasor superior;
- Posicionar a câmara na prensa para ensaio de compressão triaxial (Figura 12).

Figura 12: Corpo de prova dentro de câmara de compressão posicionada na prensa triaxial



(Fonte: Autor 2017).

3. Ensaio de compressão triaxial:

- Ligar a máquina de controle de pressão e a prensa do equipamento;
- Conectar o laptop ao equipamento, inicializar o software e verificar se todos os transdutores estão corretos;
- Cadastrar o corpo de prova para ensaio, inserindo os valores de altura, diâmetro e massa do mesmo;
- Determinar os parâmetros para ensaio, valores de contrapressão e pressão confinante;
- Saturar todas as mangueiras a serem utilizadas durante o ensaio;
- Conectar as mangueiras da máquina nas entradas da câmara de compressão, mantendo todos os registros da câmara fechados;
- Aplicar uma pressão confinante inicial de 20kPa e contrapressão de 10kPa;
- Abrir os registros de pressão neutra e de variação de volume, a fim de fazer a água percolar no corpo de prova;
- Aumentar as pressões de confinamento e contrapressão simultaneamente, sempre mantendo uma diferença $+0,1\text{kgf/cm}^2$ da pressão confinante em relação à contrapressão, até atingir o valor pré-estabelecido para a contrapressão;
- No software, abrir a aba de adensamento, verificar as pressões e então, na câmara de compressão, fechar o registro da contrapressão;
- Para realizar o adensamento, deve-se ao mesmo tempo abrir o registro de variação de volume e clicar no botão “Iniciar” do software;
- O adensamento será finalizado quando as leituras da variação de volume se estabilizarem;
- Após o adensamento, fechar o registro de variação de volume e salvar os dados coletados;
- No software, abrir a aba para ruptura do corpo de prova, inserir a velocidade de ruptura e verificar se o leitor de deslocamento e carga axial estão zerados;
- Para iniciar a ruptura, deve-se abrir o registro da pressão neutra e zerar o valor correspondente no software e em seguida clicar em “Iniciar”;
- O ensaio é finalizado quando o corpo de prova deformar 20% da sua altura inicial (Figura 13)
- Com a ruptura realizada, analisar os dados coletados.

Figura 13: Corpo de prova após ruptura



(Fonte: Autor 2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS COM AREIA FINA E MÉDIA

Para determinação dos valores de coesão e ângulo de atrito, foi realizado um total de trinta e oito ensaios, sendo utilizado doze ensaios para a areia fina e onze ensaios sendo utilizados nove para areia média. Os demais foram descartados pelos seguintes motivos:

- Falta de experiência ao utilizar o equipamento, aplicando pressões erradas;
- Quedas de energia durante a realização dos ensaios, pois existia um problema na transição da concessionária elétrica com os geradores da instituição.
- Pedras porosas sem condições de uso, que após compra das novas apresentaram diferenças consideráveis;
- Problemas em membranas, com furos;
- Equipamento apresentou erro após determinado tempo de uso onde os ensaios estavam sendo realizados com duração média de 6 horas, sendo necessária a redução deste tempo para 3 horas para que pudesse ser realizado todos em uma mesma velocidade.

Os dados dos valores de coesão e ângulo de atrito sem adição de areia foram baseados de acordo com Molina e Gandin (2015). Os laudos dos ensaios estão dispostos no Apêndice A, B, C, D, E, F e G sendo estes transcritos de forma resumida para a Tabela 02.

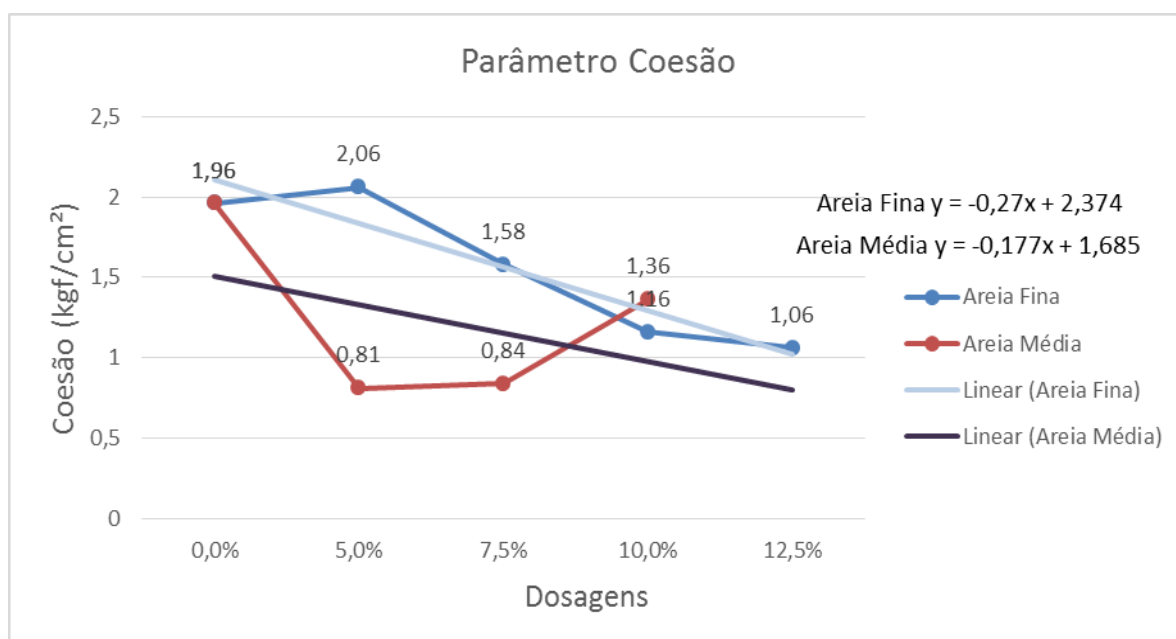
Tabela 02: Resultado dos ensaios

	Areia Fina		Areia Média	
(%)	Coesão (kgf/cm ²)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (kgf/cm ²)	Ângulo de atrito (°)
0,0%	1,96	14,19	1,96	14,19
5,0%	2,06	16,96	0,81	30,53
7,5%	1,58	27,99	0,84	26,55
10,0%	1,16	30,29	1,36	22,58
12,5%	1,06	33,43		

(Fonte: Autor 2017).

Constata-se que ao adicionar 5% de areia fina houve um aumento da coesão, fato que era inesperado, entretanto ao aumentar a dosagem para 7,5%, 10% e 12,5% ocorreu o esperado do projeto que foi a redução da coesão. Já na areia média constatou-se que houve uma redução da coesão na dosagem inicial de 5%, entretanto ao aumentar as dosagens de areia este valor se elevou. A Figura 14 indica o comportamento da coesão no decorrer de ambos ensaios, sendo indicado suas linhas de tendências e suas equações características.

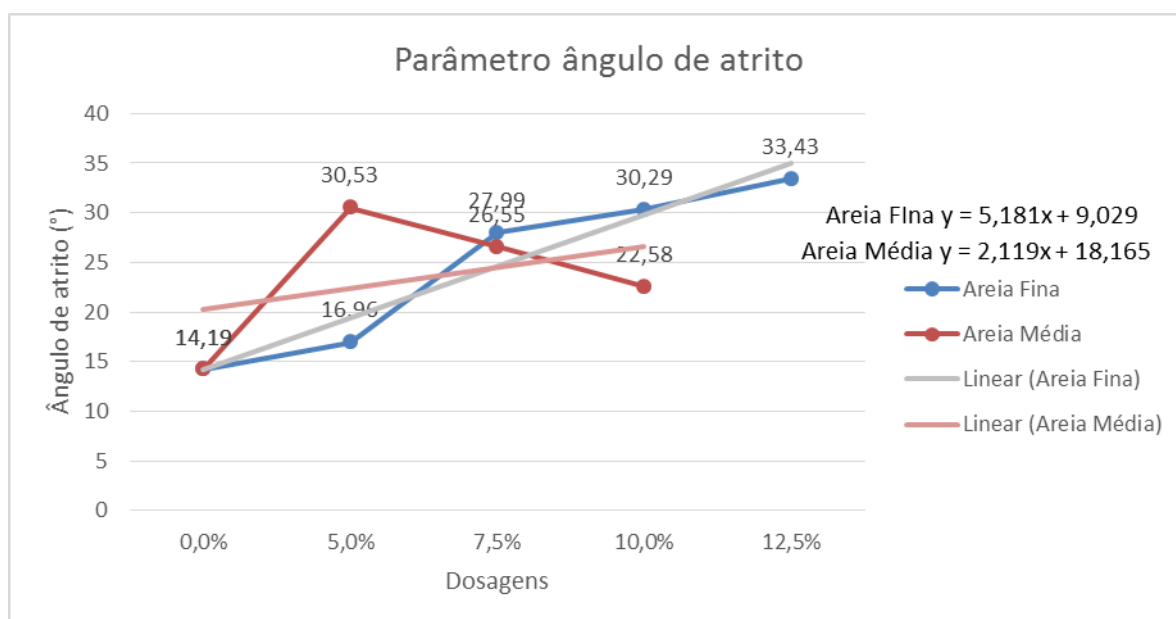
Figura 14: Índices de coesão



(Fonte: Autor 2017).

Ambos ensaios indicam através da Figura 15, o aumento do ângulo de atrito ao estado natural do solo, sendo que a areia média apresenta um ganho de 115,15% em dosagem inicial posteriormente ocorre a redução do ângulo de atrito. Entretanto a areia fina tende a aumentar o seu ângulo de atrito conforme adicionado ao solo indicando um aumento de 135,9% em sua dosagem final analisada. Quando comparado os valores é possível observar que ao adicionar 5% de areia media é necessário adicionar 10% de areia fina para que os ângulos sejam próximos, indicando que a areia média se torna uma opção mais atrativa.

Figura 15: Índices de ângulo de atrito



(Fonte: Autor 2017).

4.2 COMPARATIVO ENTRE OUTROS MATERIAIS ADICIONADOS NO MESMO SOLO

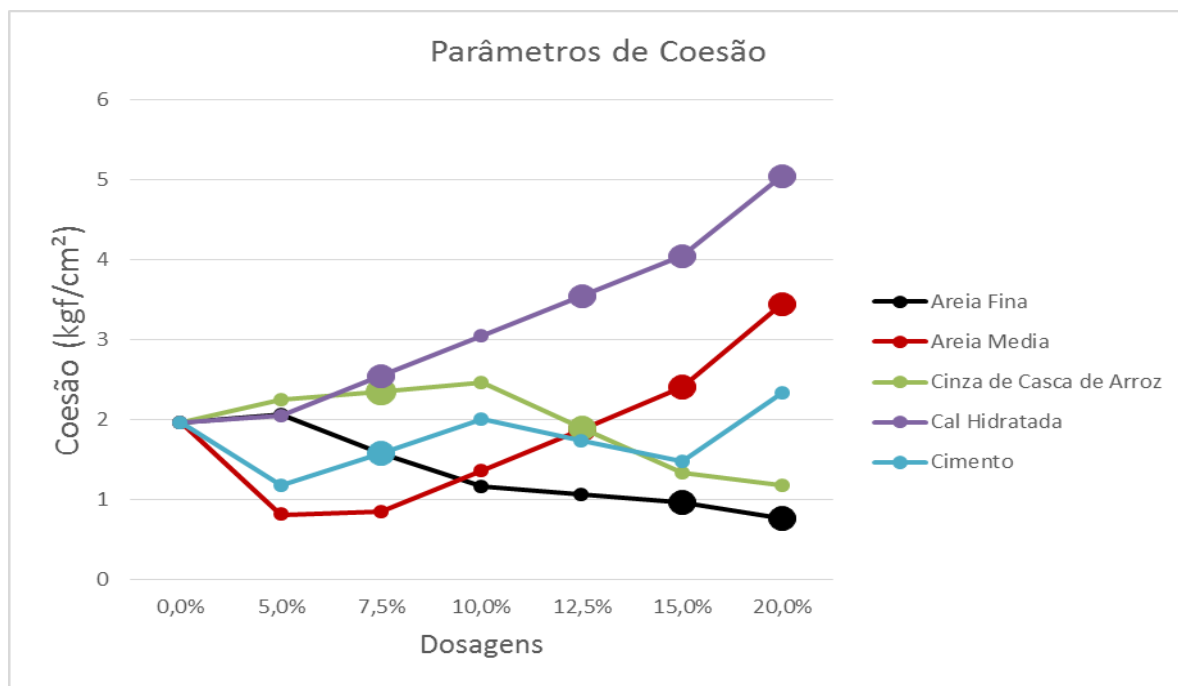
Para elaboração do estudo comparativo dos materiais anteriormente analisados com os valores obtidos através da adição de areia fina e média, foi necessário utilizar os conceitos matemáticos de interpolação e extrapolação através do *software* Microsoft Excel. As porcentagens nas quais foram submetidos este conceito, estão relacionadas a seguir:

- Areia fina: Extrapolação dos valores de 15% e 20%;
- Areia média: Extrapolação dos valores de 12,5%, 15% e 20%;
- Cal hidratada: Interpolação do valor de 7,5% e extrapolação dos valores de 12,5%, 15% e 20%
- Cimento: Interpolação do valor de 7,5%
- Cinza de casca de arroz: Interpolação dos valores de 7,5% e 12,5%;

De posse destes valores foi possível plotar a Figura 16 que indica o comportamento da coesão e a Figura 17 com o comportamento do ângulo de atrito. Ambos os gráficos

apresentam pontos destacados, sendo estes os valores obtidos através de equações matemáticas.

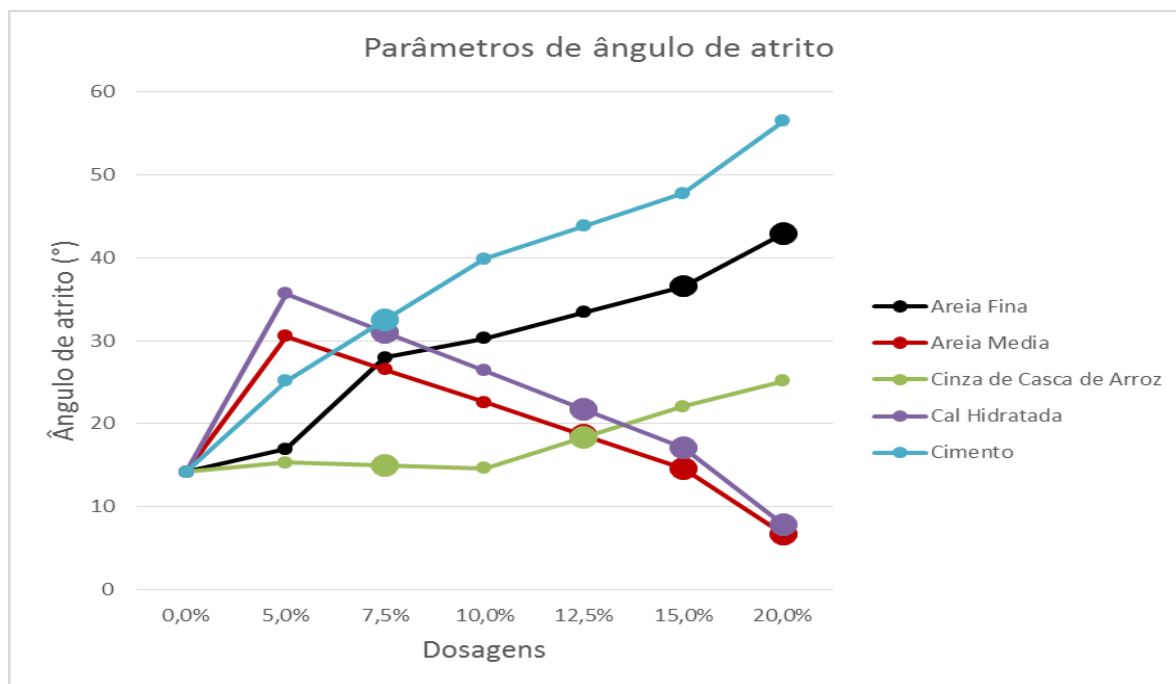
Figura 16: Comparativo de coesão entre materiais



(Fonte: Autor 2017).

Comparando os resultados, pode-se notar que a cal hidratada e a areia media são os dois materiais que apresentam um aumento de coesão significativo na concentração de 20%, porém na dosagens de 5% a areia media tem a menor coesão seguida do cimento, enquanto em porcentagens maiores a areia fina é a que teve a menor coesão.

Figura 17: Comparativo de ângulo de atrito entre materiais



(Fonte: Autor 2017).

Comparando ainda é possível indicar que a areia fina teve um aumento positivo do ângulo de atrito assim como o cimento mostrando que em altas dosagens eles tem um melhor resultado, em contrapartida a areia média e a cal hidratada apresentaram um aumento inicial, mas no decorrer do acréscimo da dosagem houve redução no ângulo de atrito, porém os dois materiais por mais que tenham apresentado uma diminuição em porcentagens altas eles demonstram um aumento de mais de 100% no ângulo de atrito nos 5% gerando um ganho expressivo e considerável para a sua utilização no melhoramento de solos argilosos.

O ângulo de atrito é o item que mais contribui a resistência ao cisalhamento e a coesão por mais que ajude é um valor fixo, não gerando um aumento expressivo, esse ganho se obteve com pouca adição de material que para a construção civil gera um menor valor de investimento que pode ser interessante pela diminuição de custos e a fácil acessibilidade do material em questão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como principal objetivo realizar a análise de influência gerada pela adição de areia fina e média na resistência ao cisalhamento do solo argiloso e laterítico da cidade de Cascavel-PR.

Baseado nos resultados atingidos é possível comprovar que as areias influenciaram de forma positiva no comportamento da resistência ao cisalhamento do solo quando comparado em seu estado natural. Ocorrendo a redução da coesão e aumento do ângulo de atrito, de maneira diferente para cada granulometria de areia.

A areia fina com maiores dosagens tende a aumentar a resistência ao cisalhamento do solo, enquanto a areia média quanto maior sua dosagem menor a resistência.

Levando em consideração os resultados obtidos pode se afirmar que ao adicionar 10% de areia fina ao solo obtém-se praticamente a mesma resistência ao cisalhamento que ao adicionar 5% de areia média.

Ao comparar os resultados obtidos com esse trabalho com outros já realizados com mesmo solo, com outros tipos de aditivos pode-se observar que a cal hidratada e a areia média são os dois materiais que apresentam um aumento de coesão significativo na concentração de 20%, porém na dosagens de 5% a areia média tem a menor coesão seguida do cimento, enquanto em porcentagens maiores a areia fina é a que teve a menor coesão.

Ainda é possível indicar que a areia fina teve um aumento positivo do ângulo de atrito assim como o cimento mostrando que em altas dosagens eles tem um melhor resultado, em contrapartida a areia média e a cal hidratada apresentaram um aumento inicial, mas no decorrer do acréscimo da dosagem houve redução no ângulo de atrito, porém os dois materiais por mais que tenham apresentado uma diminuição em porcentagens altas eles demonstram um aumento de mais de 100% no ângulo de atrito nos 5% gerando um ganho expressivo e considerável para a sua utilização no melhoramento de solos argilosos

Através do desenvolvimento desta pesquisa é possível concluir que a utilização das areias como uma alternativa para o melhoramento da resistência ao cisalhamento dos solos é eficaz. Sendo um material abundante, de fácil acesso e utilização considerável na construção civil. Esse material poderia ser aplicado para o melhoramento em taludes, muros de arrimo, aterros compactos e entre outros.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar ensaios com areia grossa mantendo as mesmas dosagens e comparando com o mesmo tipo de solo.

Verificar qual o teor de umidade ótima para as diferentes dosagens de areias através do ensaio de Proctor.

Analisar a viabilidade financeira da utilização deste material na nossa região.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. C P. **Caracterização Física e Classificação dos Solos**. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e Solos. Rio de Janeiro, ABNT: 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, ABNT: 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217**: Agregados - Determinação da composição granulométrica, ABNT: 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, ABNT: 2010.
- AZEVEDO, A. L. C. **Estabilização de solos com adição de cal. Um estudo a respeito da reversibilidade das reações que acontecem no solo após a adição de cal**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto, 2010.
- BUENO, B. S.; VILAR O. M. **Mecânica dos solos**. vol 1, São Carlos: EESC – USP, 1979.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**. Ed. LTC. Rio de Janeiro 1996.
- DAMIN, E. **Aplicação do modelo CAM-CLAY modificado ao solo de Cascavel-Pr**. Trabalho de Conclusão de Curso da Faculdade Assis Gurgacz, Cascavel, 2012.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Balanço Mineral Brasileiro 2001**. Brasília, 2001.
- DIAS, João José da Fonseca Marques Simões. **Tratamento de solos com cimento para obtenção de melhores características mecânicas**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – perfil construção. 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **EMBRAPA**. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná. Londrina, 1984.
- GONÇALVES, H. H. S; MARINHO, F. A. M.; FUTAL, M. M. – **Mecânica dos Solos e Fundações PEF 522**. 2014
- MACHADO, S. L; MACHADO, M. F – **Mecânica dos Solos I – Conceitos introdutórios**. 1997.
- MARAGON, M. **Notas de aula – Mecânica dos solos II**. Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF – NuGeo/Núcleo de Geotécnica. Juiz de Fora, 2013.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA – **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Recife. 1973.

MOLINA, M. D., GANDIN. **Determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento Através do ensaio de compressão triaxial rápido (CU) do Subsolo da FAG em Cascavel (PR)**. Trabalho de Conclusão de Curso. FAG – 2015.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo: Villibor, 1995.

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos, em 16 Aulas**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

Portal do Município de Cascavel-PR. **História** Disponível em: <<http://www.cascavel.pr.gov.br/historia.php>> Acesso em: 20 de Agosto de 2016

Portal IBGE – **Censo Demográfico** – Disponível em: < <http://migre.me/vprlE>> Acesso em 20 de Outubro de 2016.

ORTIGÃO, J.A.R. **Introdução à mecânica dos solos dos estados críticos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1995

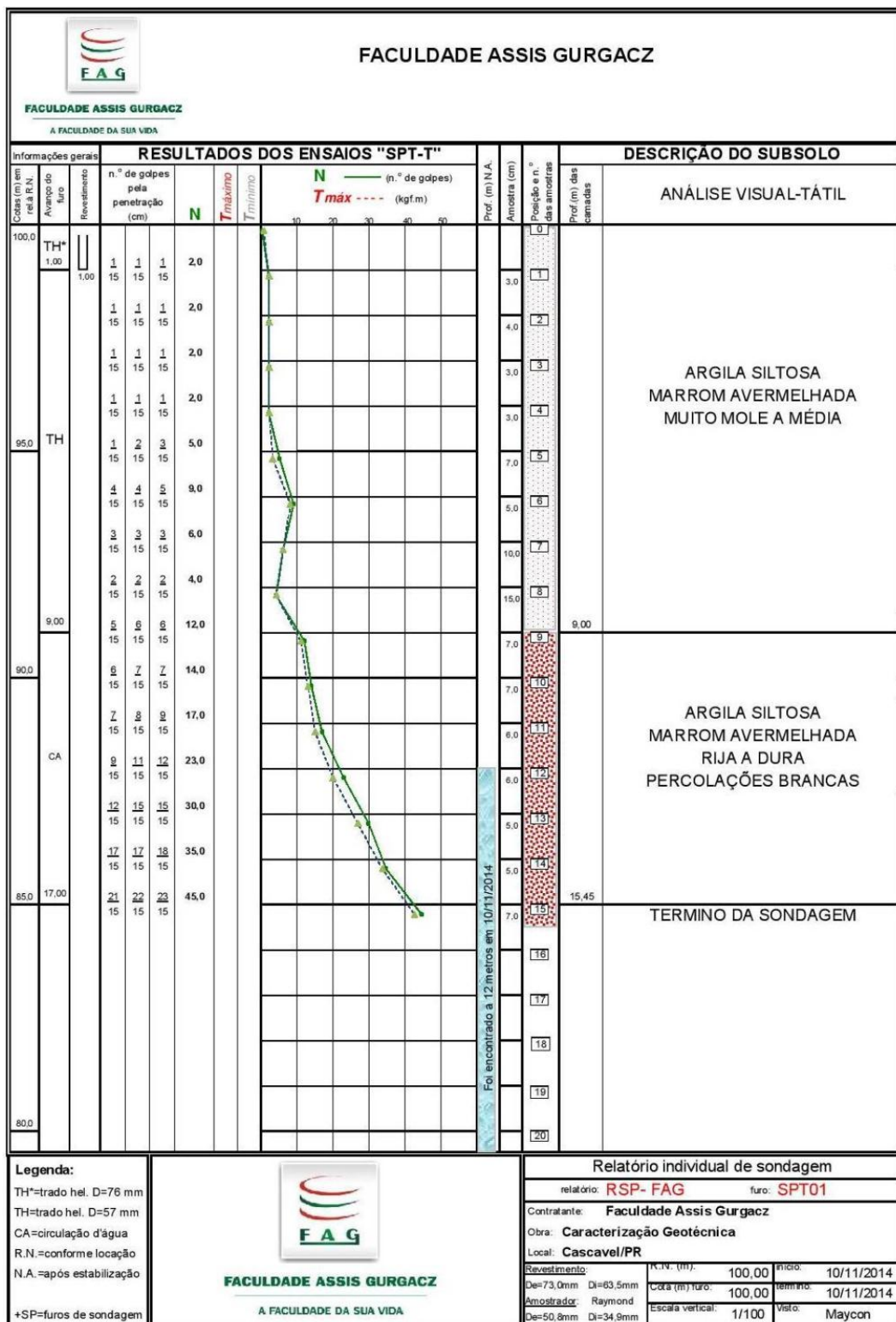
SALES, L. F. P. **Estudo do comportamento de Fundações superficiais assentes em solos tratados**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil –1998.

SILVA, A. J. N.; CARVALHO, F. G. **Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um latossolo amarelo de tabuleiro costeiro a RBCS** – Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

VALINHO R. F. **Dimensionamento de um aterro sobre solo mole reforçado e com geossintético**. Trabalho de conclusão de curso. – UENP- 2005.

VOLPATO, A. L. **Determinação da resistência ao cisalhamento de um solo argiloso e laterítico característico da região de Cascavel/PR com adição de cal hidratada**. Trabalho de Conclusão de Curso. FAG – 2015.

ANEXO A - LAUDO DE SONDAGEM REALIZADA NO CAMPO EXPERIMENTAL DE GEOTÉCNIA DO CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ



APÊNDICE A – RESULTADO DO ENSAIO COM 5% DE AREIA FINA



Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra

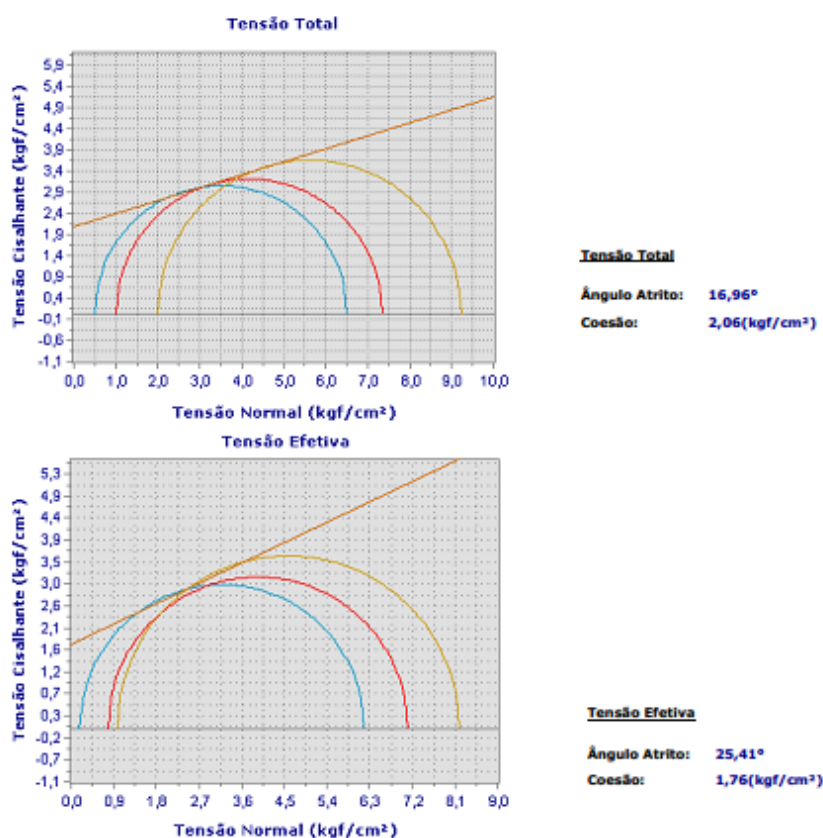
Dados Cadastrais da Amostra

Nome da Amostra: Amostra 5%
 Condição Moldagem: Compactação Dinâmica
 Tipo Ensaio: Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra
 Data do Ensaio: 18/02/2017

Informações dos Corpos de Prova

Corpo Prova	Confinante (kgf/cm ²)	Contra (kgf/cm ²)	σ_1' (kgf/cm ²)	σ_1 (kgf/cm ²)	σ_3 (kgf/cm ²)	σ_3' (kgf/cm ²)
5	1,00	2,00	7,11	7,34	1,00	0,77
6	2,00	2,00	8,20	9,23	2,00	0,97
7	0,50	2,00	6,19	6,51	0,50	0,18

Gráficos dos Resultados



APÊNDICE B – RESULTADO DO ENSAIO COM 7,5% DE AREIA FINA



Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra

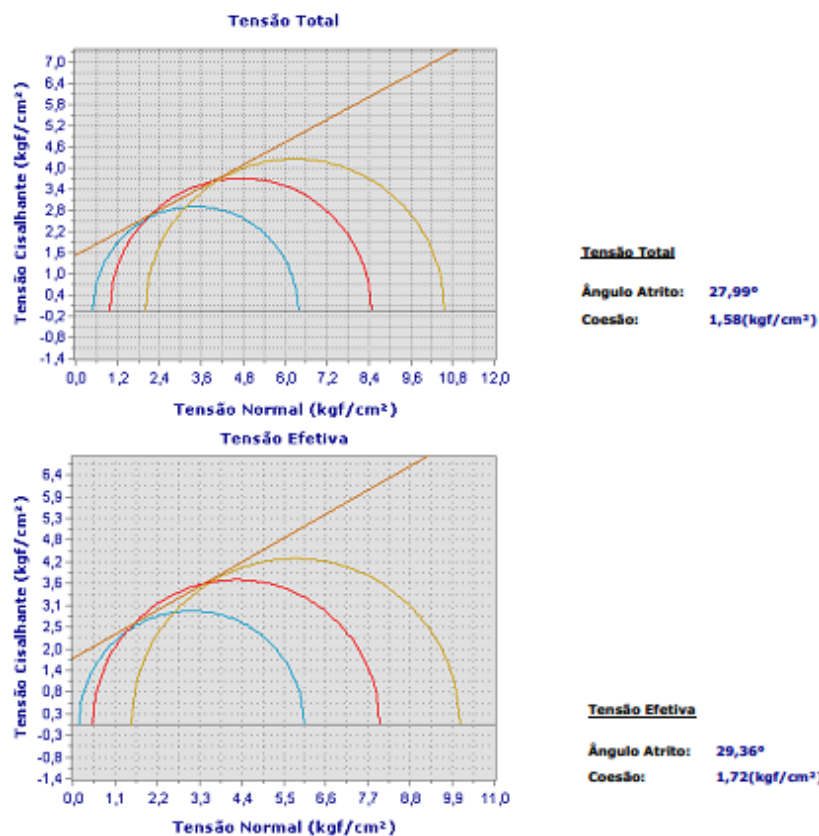
Dados Cadastrais da Amostra

Nome da Amostra: amostra 7,5%
 Condição Moldagem: Compactação Dinâmica
 Tipo Ensaio: Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra
 Data do Ensaio: 05/05/2017

Informações dos Corpos de Prova

Corpo Prova	Confinante (kgf/cm ²)	Contra (kgf/cm ²)	σ_1' (kgf/cm ²)	σ_1 (kgf/cm ²)	σ_3 (kgf/cm ²)	σ_3' (kgf/cm ²)
4	0,50	2,00	6,04	6,38	0,50	0,16
5	1,00	2,00	8,00	8,47	1,00	0,53
7	2,00	2,00	10,09	10,57	2,00	1,52

Gráficos dos Resultados



APÊNDICE C – RESULTADO DO ENSAIO COM 10% DE AREIA FINA



Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra

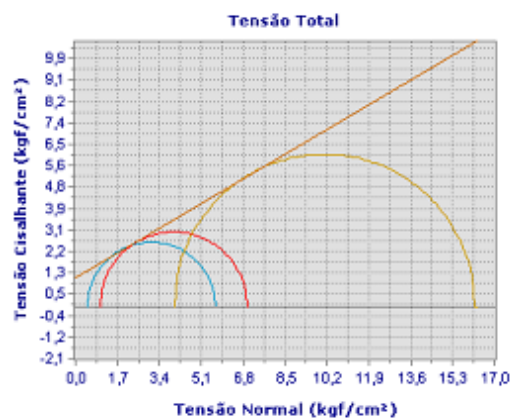
Dados Cadastrais da Amostra

Nome da Amostra: amostra 10%
 Condição Moldagem: Compactação Dinâmica
 Tipo Ensaio: Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra
 Data do Ensaio: 20/03/2017

Informações dos Corpos de Prova

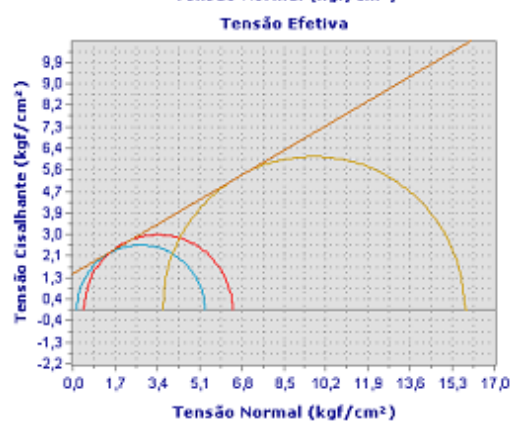
Corpo Prova	Confinante (kgf/cm ²)	Contra (kgf/cm ²)	σ_1' (kgf/cm ²)	σ_1 (kgf/cm ²)	σ_3 (kgf/cm ²)	σ_3' (kgf/cm ²)
14	4,00	1,00	15,81	16,21	4,00	3,60
16	1,00	2,00	6,43	6,98	1,00	0,45
12	0,50	2,00	5,31	5,66	0,50	0,15

Gráficos dos Resultados



Tensão Total

Ângulo Atrito: 30,29°
 Coesão: 1,16(kgf/cm²)



Tensão Efetiva

Ângulo Atrito: 30,14°
 Coesão: 1,43(kgf/cm²)

APÊNDICE D – RESULTADO DO ENSAIO COM 12,5% DE AREIA FINA



Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra

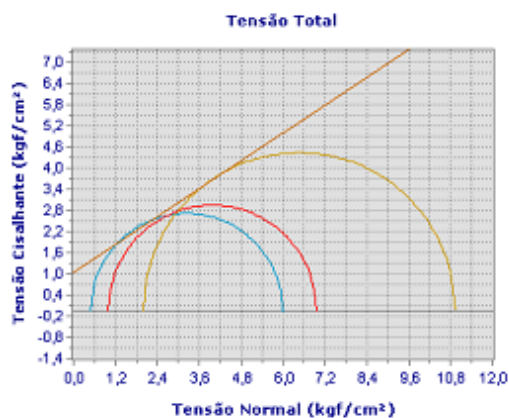
Dados Cadastrais da Amostra

Nome da Amostra: amostra 12,5%
 Condição Moldagem: Compactação Dinâmica
 Tipo Ensaio: Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra
 Data do Ensaio: 11/05/2017

Informações dos Corpos de Prova

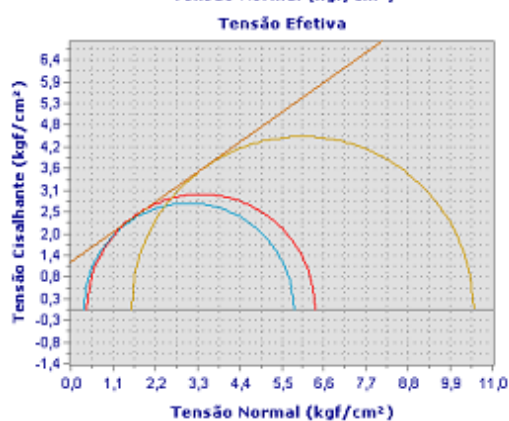
Corpo Prova	Confinante (kgf/cm ²)	Contra (kgf/cm ²)	σ_1' (kgf/cm ²)	σ_1 (kgf/cm ²)	σ_3 (kgf/cm ²)	σ_3' (kgf/cm ²)
1	0,50	2,00	5,82	5,99	0,50	0,33
7	2,00	2,00	10,50	10,93	2,00	1,57
8	1,00	2,00	6,37	6,95	1,00	0,42

Gráficos dos Resultados



Tensão Total

Ângulo Atrito: 33,43°
 Coesão: 1,06(kgf/cm²)



Tensão Efetiva

Ângulo Atrito: 35,09°
 Coesão: 1,22(kgf/cm²)

APÊNDICE E – RESULTADO DO ENSAIO COM 5% DE AREIA MÉDIA



Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra

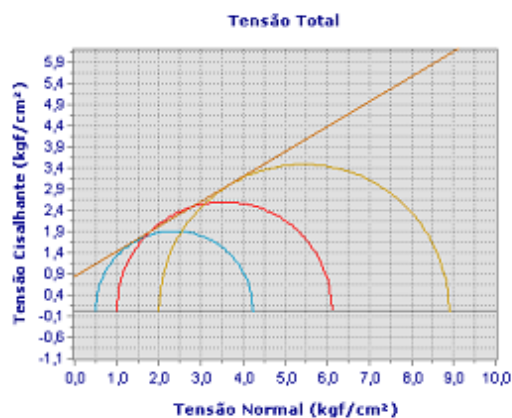
Dados Cadastrais da Amostra

Nome da Amostra: amostra 5% areia media
 Condição Moldagem: Compactação Dinâmica
 Tipo Ensaio: Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra
 Data do Ensaio: 25/05/2017

Informações dos Corpos de Prova

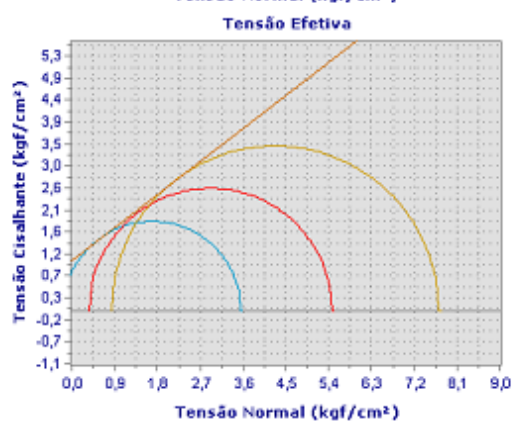
Corpo Prova	Confinante (kgf/cm ²)	Contra (kgf/cm ²)	σ_1' (kgf/cm ²)	σ_1 (kgf/cm ²)	σ_3 (kgf/cm ²)	σ_3' (kgf/cm ²)
2	0,50	2,00	3,56	4,24	0,50	-0,18
3	1,00	2,00	5,48	6,12	1,00	0,36
4	2,00	2,00	7,72	8,89	2,00	0,83

Gráficos dos Resultados



Tensão Total

Ângulo Atrito: 30,53°
 Coesão: 0,81(kgf/cm²)



Tensão Efetiva

Ângulo Atrito: 37,57°
 Coesão: 1,03(kgf/cm²)

APÊNDICE F – RESULTADO DO ENSAIO COM 7,5% DE AREIA MÉDIA



Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra

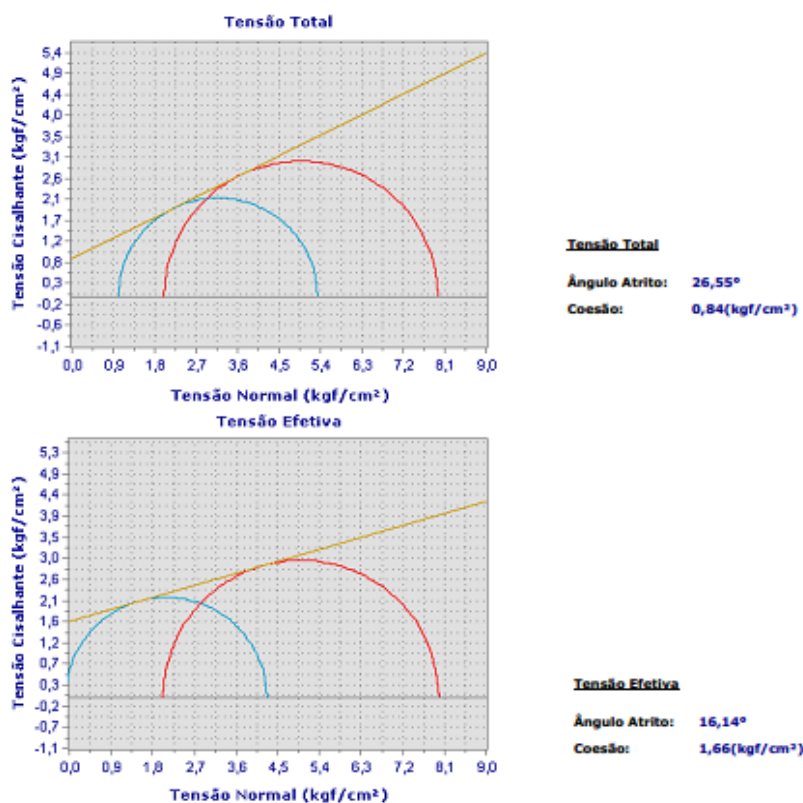
Dados Cadastrais da Amostra

Nome da Amostra: amostra 7,5% areia media
 Condição Moldagem: Compactação Dinâmica
 Tipo Ensaio: Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra
 Data do Ensaio: 02/06/2017

Informações dos Corpos de Prova

Corpo Prova	Confinante (kgf/cm ²)	Contra (kgf/cm ²)	σ_1' (kgf/cm ²)	σ_1 (kgf/cm ²)	σ_3 (kgf/cm ²)	σ_3' (kgf/cm ²)
2	1,00	2,00	4,27	5,35	1,00	-0,08
3	2,00	2,00	7,98	7,96	2,00	2,02

Gráficos dos Resultados



APÊNDICE G – RESULTADO DO ENSAIO COM 10% DE AREIA MÉDIA



Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra

Dados Cadastrais da Amostra

Nome da Amostra: amostra 10% areia média
 Condição Moldagem: Compactação Dinâmica
 Tipo Ensaio: Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra
 Data do Ensaio: 26/05/2017

Informações dos Corpos de Prova

Corpo Prova	Confinante (kgf/cm ²)	Contra (kgf/cm ²)	σ_1' (kgf/cm ²)	σ_1 (kgf/cm ²)	σ_3 (kgf/cm ²)	σ_3' (kgf/cm ²)
2	1,00	2,00	6,03	6,65	1,00	0,38
3	2,00	2,00	8,56	8,42	2,00	2,14
4	0,50	2,00	4,63	5,01	0,50	0,12

Gráficos dos Resultados

