

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

FABRÍCIO DIOGO TURMENA

MATEUS BOSI CASSOL

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DO GEOTÊXTIL COMO ELEMENTO FILTRO-
DRENANTE NUMA QUADRA DE TÊNIS DE SAIBRO LOCALIZADA NA CIDADE
DE CASCAVEL - PR**

**CASCAVEL - PR
2017**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

FABRÍCIO DIOGO TURMENA

MATEUS BOSI CASSOL

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DO GEOTÊXTIL COMO ELEMENTO FILTRO-
DRENANTE NUMA QUADRA DE TÊNIS DE SAIBRO LOCALIZADA NA CIDADE
DE CASCAVEL - PR**

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.

Professor Orientador: Me. Engenheiro Civil Maycon André de Almeida.

**CASCAVEL - PR
2017**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

FABRÍCIO DIOGO TURMENA

MATEUS BOSI CASSOL

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DO GEOTÊXTIL COMO ELEMENTO FILTRO-
DRENANTE NUMA QUADRA DE TÊNIS DE SAIBRO LOCALIZADA NA CIDADE
DE CASCAVEL - PR**

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 Me. Engenheiro Civil Maycon André de Almeida.

BANCA EXAMINADORA

Orientador (a) Prof(a). **Me. MAYCON ANDRÉ DE ALMEIDA**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil

Professor (a) **<Titulação NOME DO PROFESSOR>**
Centro Universitário Assis Gurgacz
<Formação graduação do professor>

Professor (a) **<Titulação NOME DO PROFESSOR>**
Centro Universitário Assis Gurgacz
<Formação graduação do professor>

Cascavel, 17 de outubro de 2017.

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho aos nossos familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus por guiar nossos caminhos.

Ao professor orientador pela paciência na orientação e no incentivo que tornaram possível a conclusão desta monografia.

Aos familiares pelo apoio no decorrer da graduação.

À monitora do laboratório pela assistência e dedicação durante nossos ensaios laboratoriais.

.

EPÍGRAFE

“O sucesso deve ser uma consequência, nunca um objetivo.”

Gustave Flaubert.

RESUMO

A efetiva drenagem de uma quadra de tênis de saibro é fundamental para a prática do esporte, pois o piso molhado torna-se liso e impossibilita o andamento correto da partida. O objetivo deste trabalho foi estudar a eficiência de utilizar manta geotêxtil para fins de drenagem do solo de uma quadra de tênis de saibro baseada no modelo encontrado no Centro Esportivo Ciro Nardi – Cascavel – PR. A metodologia utilizada no trabalho consistiu no ensaio em 2 protótipos: um representando o sistema atual de drenagem da quadra de tênis e outro utilizando manta geotêxtil envolvendo os drenos. Foi simulada uma saturação do saibro e medidos os tempos de drenagem em cada situação, demonstrando a eficiência que a manta geotêxtil oferece como elemento filtro-drenante em relação ao modelo convencional que utiliza cascalho cerâmico em seu lugar. O resultado encontrado foi uma melhora significativa de 70%, sendo uma solução viável para redução do tempo de secagem das quadras.

Palavras-chave: Geossintético. Drenagem. Protótipo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Curva de distribuição granulométrica do solo	19
Figura 02: Limites de Atterberg dos solos	21
Figura 03: Exemplo do gráfico para determinação do LL	23
Figura 04: Geossintético como separador	26
Figura 05: Geossintético como filtro.....	26
Figura 06: Geossintético como dreno	26
Figura 07: Geossintético como reforço	27
Figura 08: Geossintético como barreira	27
Figura 09: Geossintético como controle de processos erosivos.....	27
Figura 10: Manta geotêxtil não tecido (esquerda) e tecido (direita)	28
Figura 11: Manta geotêxtil não tecido.....	30
Figura 12: Local da pesquisa.....	31
Figura 13: Equipamentos do ensaio de sedimentação.....	32
Figura 14: Equipamentos do ensaio de peneiramento.....	33
Figura 15: Equipamentos do ensaio de limites de liquidez.....	34
Figura 16: Procedimentos do ensaio de limite de liquidez.	34
Figura 17: Equipamentos e procedimentos do ensaio de limite de plasticidade.....	35
Figura 18: Caixa de acrílico..	36
Figura 19: Teste de estanqueidade.	36
Figura 20: Preparação dos furos na mangueira..	37
Figura 21: Camadas iniciais.	37
Figura 22: Camada de brita..	38
Figura 23: Camada de saibro sobre a manta geotêxtil...	38
Figura 24: Compactação das camada...	40
Figura 25: Simulação de chuva intensa.....	41
Figura 26: Colata de vazão do dreno.....	41
Figura 27: Camada de cascalho cerâmico compactado.....	42
Figura 28: Curva granulométrica do saibro.....	44
Figura 29: Gráfico do ensaio de limite de liquidez..	45
Figura 30: Curva granulométrica da areia.....	46
Figura 31: Curva granulométrica da brita..	47
Figura 32: Curva granulométrica da areia e brita.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Energias de compactação	39
Tabela 2: Vazões do sistema de drenagem.....	48

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Lei de Stokes	19
Equação 2: Índice de plasticidade	21
Equação 3: Índice de compressão	22
Equação 4: Permissividade.....	29
Equação 5: Transmissividade	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

LL – Limite de Liquidez.

LP – Limite de Plasticidade.

NBR – Norma Brasileira Regulamentadoras.

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso.

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO 1.....	13
1.1	INTRODUÇÃO	13
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos.....	14
1.3	JUSTIFICATIVA.....	14
1.4	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.5	FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	15
1.6	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	15
2	CAPÍTULO 2.....	16
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1.1	Solo	16
2.1.2	Análise granulométrica	18
2.1.3	Índices de consistência.....	20
2.1.3.1	Limite de liquidez.....	22
2.1.3.2	Limite de plasticidade.....	23
2.1.4	Geossintéticos	23
2.1.4.1	Geotêxteis	27
3	CAPÍTULO 3.....	31
3.1	METODOLOGIA	31
3.1.1	Tipo de estudo e local da pesquisa.....	31
3.1.2	Caracterização das amostras.....	32
3.1.2.1	Ensaio de granulometria conjunta do saibro	32
3.1.2.2	Índices de consistência do saibro.....	33
3.1.2.3	Ensaio de peneiramento da areia e da brita	35
3.1.3	Ensaio experimental com a manta.....	36
3.1.4	Ensaio experimental com cascalho cerâmico.....	42
3.1.5	Análise dos dados.....	43
4	CAPÍTULO 4.....	44
4.1	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1.1	Características do saibro	44
4.1.2	Classificação da areia.....	45

4.1.3 Classificação da brita	46
4.1.4 Ensaio de drenagem	48
5 CAPÍTULO 5.....	50
5.1 CONCLUSÃO	50
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	51
REFERÊNCIAS	52

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

A prática do tênis de quadra como forma de lazer está crescendo muito rapidamente no Brasil, sendo o terceiro esporte mais popular no país. Há diversos tipos de quadras, classificando-se em superfícies rápidas (de cimento, carpete e grama, por exemplo) ou lentas (que tem como principal representante o saibro) (FONTOURA, 2003).

De acordo com a ABNT NBR 13529/1995, o saibro é um tipo de material que provém de granitos e gnaisses, tendo minerais decompostos parcialmente. Sua composição possui baixo teor de argila (é principalmente arenosa ou siltosa) e a cor é variada. Já Oliveira (1992) afirma que o saibro é um material de composição variável e difícil definição, por consequência da heterogeneidade de suas jazidas. É basicamente uma junção de areia e argila com altos índices de porosidade e permeabilidade.

Segundo Alves (2011), a drenagem é essencial em quadras de tênis de saibro, pois nesse tipo de solo não pode ocorrer acúmulo de poças d'água, visto que, estando molhado, o piso sofreria desgaste através do esforço mecânico dos pés dos jogadores.

Tal como cita a ABNT NBR 12553/2003, drenagem nada mais é do que a coleta e condução de um fluido pelo corpo de um geossintético. De acordo com Vertematti (2004), um dos geossintéticos utilizados em drenagem é o geotêxtil espesso (uma camada de alguns milímetros de espessura de geotêxtil não-tecido agulhado), que acumula as funções de filtro e de condução de fluidos (líquidos ou gases) em seu plano.

Bathurst (2007) informa que o geossintético desempenha um papel similar ao de filtro de areia, onde as partículas sólidas ficam retidas permitindo que ocorra apenas a passagem de água. O material é muito usado com objetivo de impedir a migração do solo para dentro de tubulações drenantes, pois caso o solo não seja retido pode ocorrer o entupimento nos piores casos, prejudicando significativamente a sua eficiência.

Nesse trabalho estudou-se a eficiência do geotêxtil na drenagem de uma quadra de tênis de saibro de Cascavel - PR.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Verificar a aplicabilidade e eficiência da utilização de manta geotêxtil como elemento filtro-drenante em quadras de tênis de saibro.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar, por meio de ensaio granulométrico e dos índices de consistência, o solo existente nas quadras;
- Comparar, utilizando protótipos em laboratório, o tempo de drenagem do solo nos sistemas com e sem a manta geotêxtil;
- Analisar a eficiência na drenagem obtida pela implantação de geossintético em quadras de tênis de saibro.

1.3 JUSTIFICATIVA

A maioria das quadras de tênis no Brasil é feita de saibro, sendo o tipo preferido dos atletas locais. A qualidade da quadra é essencial à prática do esporte, pois, sem o cuidado necessário, pode prejudicar o andamento das partidas e até causar lesões nos atletas (AGUIAR, 2009).

Atualmente, quando há ocorrência de chuva, a água fica empoçada na quadra e forma uma lama escorregadia, tornando-se inviável a prática do esporte. Mesmo após alguns dias sem chuva, aparentando estar apta ao uso normal, constata-se que boa parte dela ainda está saturada e lisa, deixando instável a movimentação dos jogadores, podendo ocasionar lesões físicas.

A fim de satisfazer os usuários das quadras de tênis de saibro, esse estudo procurou analisar se a utilização de mantas geotêxteis proporciona uma melhoria na sua drenagem, demonstrando, por meio de ensaios laboratoriais, ser ou não uma solução tecnicamente viável com melhoria significativa no tempo de drenagem, deixando-a apta ao uso mais rapidamente,

visto que, apesar da manta ter sido muito difundida no Brasil nos últimos anos (VERTEMATTI, 2004), pouco se fala em utilizá-la com função drenante em quadras de tênis.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A manta geotêxtil é uma possível solução para promover uma drenagem eficiente em uma quadra de tênis de saibro?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

A manta geotêxtil pode apresentar resultados satisfatórios quanto à drenagem e reforço de bases, podendo, assim, ser uma ótima alternativa para tal problema, pois acredita-se que melhora significativamente o tempo de drenagem em relação ao original.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi limitada ao estudo da eficiência da manta geotêxtil na drenagem do solo tipo saibro como o encontrado na quadra de tênis do Ciro Nardi em Cascavel – PR.

Inicialmente, foram coletadas amostras do solo presente na quadra para identificar sua composição por meio de ensaio granulométrico em laboratório. Em seguida, utilizando dois protótipos com o solo analisado (um contendo a manta e outro não), foram coletados seus tempos de drenagem e lançados em planilhas para sua melhor análise e confecção dos resultados.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Solo

Conforme Caputo (1988), desde a origem da civilização humana houve a necessidade do trabalho e estudo dos solos. O cuidado com o solo é primordial para que não haja problemas imediatos e futuros de fundações e de obras de terra, problemas que podem ser observados em grandes obras antigas, tais como pirâmides do Egito, os templos da Babilônia, a Grande Muralha da China, os aquedutos e as estradas do Império Romano.

Como afirma Pinto (2006), as obras do ramo da engenharia civil, em sua totalidade, utilizam o solo como material de apoio para suas fundações, sendo necessário um estudo para conhecer o seu comportamento. Com a sequência de catástrofes em obras na engenharia civil no início do século XX, veio a necessidade de uma revisão dos procedimentos de cálculo, pois, diferentemente de materiais como concreto e aço, nos quais as características são iguais em qualquer local, o solo possui diferenças significativas, tendo a necessidade de estudos particulares a cada solo analisado.

A ABNT NBR 6502/1995 define o solo como um material originado pela decomposição das rochas através de agentes químicos ou físicos, contendo ou não a presença de matéria orgânica.

Caputo (1988) afirma que a formação do solo pode se dar por um processo de desintegração mecânica, geralmente formando as partes mais grossas, que são pedregulhos e areias, além de partículas intermediárias, chamadas de siltes. Em raras ocasiões formam-se argilas. Água, temperatura, vegetação e vento são os agentes que provocam tal processo. A água é ainda o principal agente para um outro processo chamado decomposição química, que costuma ser essencial para formar argilas por meio de mecanismos como oxidação, hidratação e carbonatação, em que as rochas de origem sofrem modificações químicas e/ou mineralógicas que atuam simultaneamente para formação dos solos, alternando sua predominância conforme mudam os locais e condições climáticas.

Conforme a ABNT NBR 6502/1995, as partes finas do solo são compostas por argilas e siltes. A argila é um solo coeso e plástico, e o silte um solo de pouca resistência quando o ar

está seco, possui baixa ou nenhuma plasticidade, sendo classificados a seguir conforme seus diâmetros:

- Argila: Contem grãos com diâmetro menores que 0,002 mm;
- Silte: Contem grãos com diâmetro entre 0,002 mm e 0,06 mm.

De acordo com a ABNT NBR 6502/1995, a areia é definida como um solo originado por partículas de rochas ou minerais com diâmetros entre 0,06 mm e 2,0 mm, sendo um material não apresenta plasticidade e coesão. A areia pode ser classificada em três categorias conforme sua granulometria, sendo elas:

- Areia fina: Os grãos possuem diâmetro entre 0,06 mm e 0,20 mm;
- Areia média: Os grãos possuem diâmetro entre 0,06 mm e 0,60 mm;
- Areia grossa: Os grãos possuem diâmetro entre 0,60 mm e 2,0 mm.

Como afirma a ABNT NBR 6502/1995, o pedregulho é determinado como um solo composto por partículas de rocha ou minerais, possuindo um diâmetro de suas partículas entre 2,0 mm e 60 mm, podendo ser distribuídas entre três categorias:

- Pedregulho fino: Composto por grãos com diâmetros entre 2,0 mm e 6,0 mm;
- Pedregulho médio: Composto por grãos com diâmetros entre 6,0 mm e 20,0 mm;
- Pedregulho grosso: Composto por grãos com diâmetros entre 20,0 mm e 60,0 mm;

Segundo Pinto (2006), a classificação dos solos é necessária para a padronização e transmissão do conhecimento, embora não deva servir para substituir a importância dos parâmetros físicos que enquadraram o solo em tal classificação, pois ela apenas estima seu comportamento. Solos nos limites de suas categorias, por exemplo, podem se assemelhar mais entre eles do que com outros de seu próprio grupo, justamente por conta de seus parâmetros estarem mais próximos. Apesar de os métodos de ensaio sofrerem algumas críticas por serem bastante suscetíveis a erros do técnico, é importante classificar o solo por índices numéricos para que se estabeleça um padrão e facilite seu entendimento.

Os principais ensaios para conhecer e classificar um solo são os que fornecem a análise granulométrica e os índices de consistência (limites de Atterberg). Existe a possibilidade de classificar pela origem, mas essa e outras classificações são apenas complementares à classificação unificada, a qual se baseia nesses dois ensaios. Para exemplificar: solos com origens iguais apresentam as mesmas características básicas, mas muitas outras são diferentes devido a granulometria diversa ou a limites de Atterberg diferentes, o que deixa o solo com comportamento sensivelmente diferente (PINTO, 2006).

2.1.2 Análise granulométrica

De acordo com a ABNT NBR 7181/2016, o ensaio de granulometria conjunta subdivide-se em duas etapas: sedimentação e peneiramento, conforme os passos a seguir:

- O primeiro passo é preparar a amostra, deixando 3 kg secar ao ar e, em seguida, passar pela peneira de 2 mm (com o cuidado de desfazer os torrões para assegurar que nenhuma partícula menor que a abertura da peneira seja retida). Para os ensaios de sedimentação e peneiramento fino de solos siltosos e argilosos, transfere-se 70 g do material que passou pela peneira para um béquer com 125 ml de solução defloculante (em geral, hexametáfosfato de sódio com concentração de 45,7 g do sal por 1000 ml de solução), deixando em repouso por no mínimo 12 horas.
- Após esse período, leva-se a mistura ao dispersor de partículas para agitação durante 15 minutos. O conteúdo, então, é despejado numa proveta de vidro, completando com água destilada até 1000 ml. Promove-se uma última agitação manual por aproximadamente 1 minuto. Imediatamente após terminada essa agitação tem início a sedimentação, devendo-se realizar leituras de densidade e temperatura ambiente após 30 segundos, 1, 2, 4, 8, 15 e 30 minutos, 1, 2, 4, 8 e 24 horas, sempre contando a partir do início do processo.
- Ao final, verte-se o conteúdo da proveta na peneira #200 (abertura 0,075 mm), com auxílio de água corrente. As partículas que ficarem retidas serão submetidas ao ensaio de peneiramento fino, onde a amostra de solo (previamente seca em estufa, permanecendo 24 horas à uma temperatura de 105 a 110 °C) é colocada numa pilha de peneiras com aberturas normatizadas de 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, 0,15 e 0,075 mm e então submetida a vibração mecânica.
- Dessa forma, as partículas de solo maiores param nas peneiras superiores, enquanto as menores vão passando para as peneiras inferiores. Com esses ensaios são obtidos pontos em um gráfico que relaciona o diâmetro dos grãos e a porcentagem que passa, para definir a curva granulométrica.

Segundo Caputo (1988), a análise granulométrica é a determinação do tamanho das partículas do solo e da proporção em que elas se encontram, sendo representada graficamente através da curva granulométrica. Na curva as dimensões das partículas são marcadas sobre o eixo das abscissas, já sobre o eixo das ordenadas são marcadas as porcentagens que passam do material.

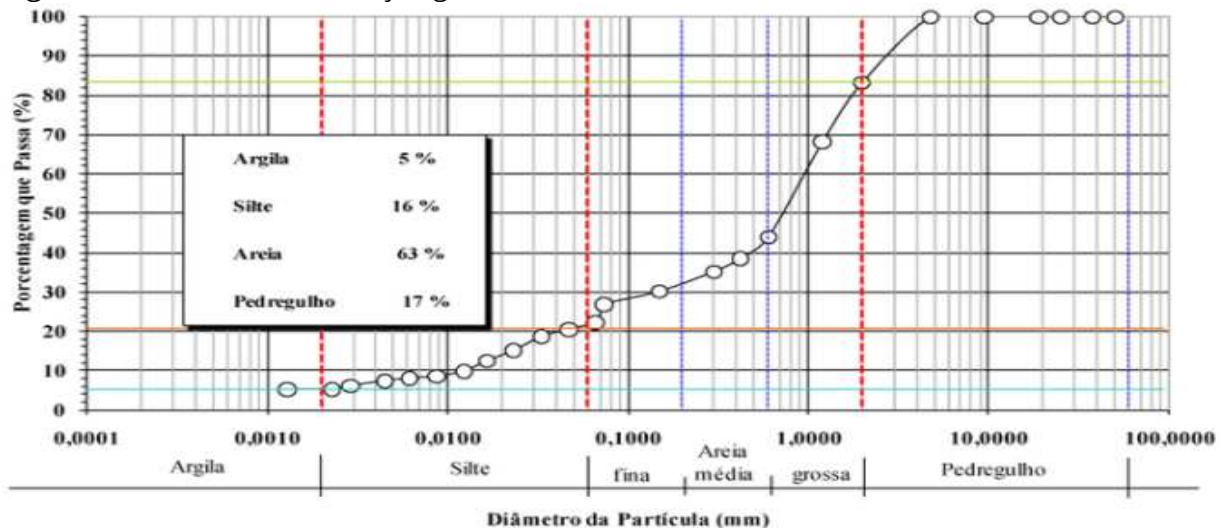
A fim de complementar tal gráfico com as partes mais finas do solo, é feito o ensaio de sedimentação das partículas, pelo fato de que as malhas com abertura menor do que 0,075 mm (a mais fina desse ensaio) são pouco resistentes e só utilizadas em estudos específicos (PINTO, 2006).

De acordo com Pinto (2006), a sedimentação está baseada na Lei de Stokes, que relaciona, de forma diretamente proporcional, a velocidade (v) de queda das partículas num fluido qualquer com o quadrado de seu diâmetro (D). A velocidade também depende dos pesos específicos das partículas (γ_s) e do fluido (γ_w), e da viscosidade do fluido (μ), conforme Equação 1.

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18 \cdot \mu} \cdot D^2 \quad (1)$$

Pinto (2006) diz ainda que, nesse ensaio, partículas do solo são colocadas em uma proveta com água destilada. Então, de tempos em tempos (pré-definidos por norma), mede-se a densidade da mistura e anota-se também a temperatura ambiente. Como as partículas maiores sedimentam mais rápido, a densidade vai mudando ao longo da profundidade. Sendo assim, a relação entre a densidade atual e a inicial apresenta a porcentagem de grãos com diâmetro inferior ao dado pela Lei de Stokes (que é o da maior partícula existente em determinada profundidade). Os dados obtidos podem ser, então, juntados com os do ensaio de peneiramento e colocados no mesmo gráfico, formando a curva granulométrica, como pode ser observado na Figura 01.

Figura 01: Curva de distribuição granulométrica do solo.



Fonte: Google (2017).

Podem-se definir, a partir da curva granulométrica, dois parâmetros: o diâmetro efetivo (o correspondente ao ponto de 10% de porcentagem que passa) e o grau de uniformidade, definido de acordo com o coeficiente de uniformidade (relação entre o diâmetro correspondente ao ponto de 60% de porcentagem que passa e o diâmetro efetivo). Quanto maior o coeficiente de uniformidade, menor será o grau de uniformidade do solo (CAPUTO, 1988).

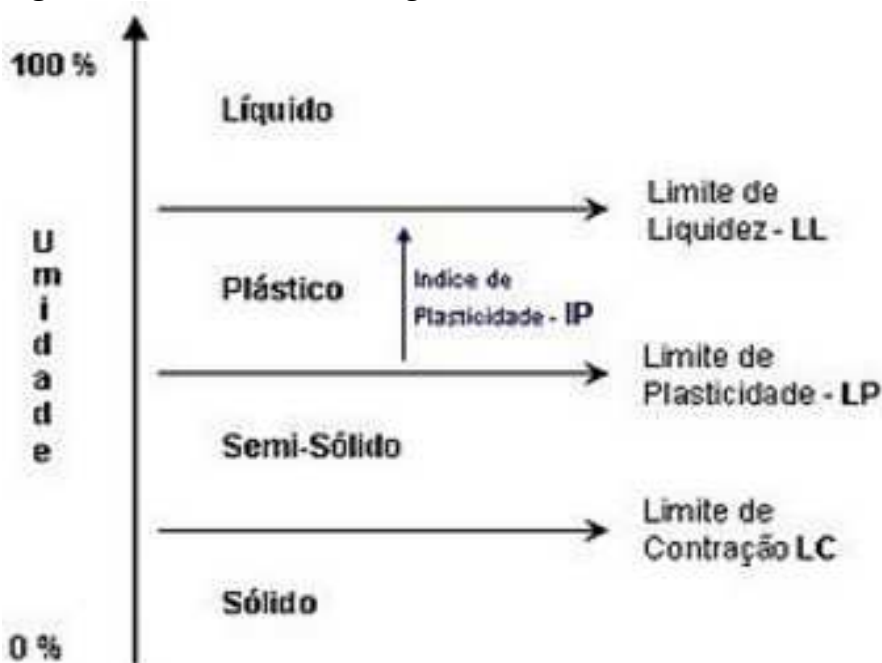
A análise granulométrica de um solo serve para conhecer o tamanho dos grãos considerando um diâmetro equivalente, pois as partículas não são perfeitamente esféricas. No peneiramento, considera-se a abertura nominal das peneiras como o diâmetro equivalente. Já na sedimentação, diâmetro equivalente é aquele em que a esfera sedimenta com velocidade igual à da partícula analisada (PINTO, 2006).

2.1.3 Índices de consistência

Pinto (2006) diz que a parte fina do solo (argila) tem grande interferência em seu comportamento com presença de água. Entretanto, como o estudo das argilas em si envolve muitas variáveis, o que o torna complexo, realiza-se uma análise indireta, avaliando o comportamento do solo na presença de água e atribuindo a ele índices numéricos, que permitem sua classificação numa escala padronizada de estados físicos. São os chamados índices de consistência do solo (Limites de Atterberg).

Conforme o grau de umidade presente no solo argiloso, seu aspecto passa de quebradiço (baixa umidade) para líquido (muito úmido). Entre esses dois estados há o estado plástico. O limite de liquidez (LL) é definido como o teor de umidade em que ocorre a mudança do estado plástico para o líquido, enquanto o limite de plasticidade (LP) se dá na mudança do estado plástico para o quebradiço. A diferença entre esses dois limites fornece o índice de plasticidade (IP), que representa toda a faixa de valores de umidade em que o solo é plástico (PINTO, 2006). Pode-se observar esses limites na Figura 2.

Figura 02: Limites de Atterberg dos solos.



Fonte: Pinto (2006).

De acordo com Caputo (1988), a definição dos índices de consistência permite de uma maneira rápida e simples ter uma boa ideia das características presentes e principalmente do tipo do solo analisado.

Pinto (2006) afirma ainda que esses índices são valores arbitrários e que o estado do solo vai se alterando gradativamente conforme ganha ou perde umidade. Portanto, tais índices servem como comparativos entre solos diferentes.

A plasticidade é uma propriedade do solo que representa a capacidade de ser moldado na presença de umidade, sem alteração de volume. É considerada uma das propriedades mais relevantes das argilas (CAPUTO, 1988).

Para Pinto (2006), com os valores desses dois limites é possível obter o Índice de Plasticidade (IP), através da Equação 2:

$$IP = LL - LP \quad (2)$$

De acordo com Pinto (2006), o solo, por ser um material natural, apresenta uma estrutura que pode ser modificada através da ação de carregamentos, ocorrendo a ruptura e/ou deslocamento das partículas. A compressibilidade de um solo está relacionada com a diminuição do seu volume (deformação) conforme a variação de tensões aplicadas. Uma das

principais aplicações dos índices de consistência é a correlação de que, quanto maior o limite de liquidez, mais compressível é o solo – a compressibilidade é expressa pelo índice de compressão (C_c). Essa relação não é proporcional, como pode-se observar na Equação 3:

$$C_c = 0,009 \cdot (LL - 10) \quad (3)$$

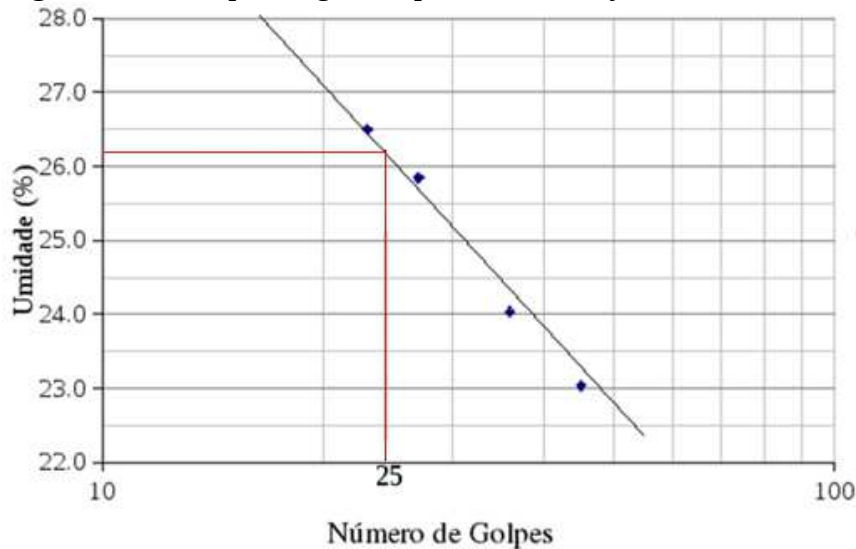
2.1.3.1 Limite de liquidez

O ensaio do Limite de Liquidez é normatizado pela ABNT NBR 6459/1984. Segundo a norma, o primeiro passo do procedimento é preparar a amostra, destorroando uma quantidade suficiente de material seco ao ar, e passar na peneira nº 40 (0,425 mm) a fim de obter em torno de 250g da amostra. Coloca-se 70 g da amostra preparada dentro da cápsula de porcelana, adicionando uma pequena quantidade de água até que homogeneíze bem.

Com o solo uniforme, deve ser realizada a primeira determinação do número de golpes, resultando cerca de 40 golpes. Para a determinação do número de golpes, coloca-se uma quantidade da amostra homogeneizada na concha do equipamento de Casagrande e, com o auxílio do cinzel, faz-se a ranhura dividindo o solo em duas partes. Gira-se a manivela com velocidade de 2 golpes/segundo contando a quantidade de golpes para que feche a ranhura na parte central ao longo de 13 mm de comprimento. Retira-se uma quantidade de solo da parte onde ocorreu o fechamento para determinação da umidade.

Recolhe-se a amostra da concha, fazendo uma nova mistura acrescentando mais água a fim de que o número de golpes diminua com esse acréscimo. Repete-se o ensaio pelo menos duas vezes, adicionando água, de forma que se obtenha no mínimo três pontos num intervalo de 15 a 35 golpes. Os pontos são posicionados num gráfico que relaciona a quantidade de golpes e o teor de umidade, sendo que o Limite de Liquidez é o teor de umidade para 25 golpes, conforme Figura 03.

Figura 03: Exemplo de gráfico para determinação do LL.



Fonte: Google (2017).

2.1.3.2 Limite de plasticidade

A norma ABNT NBR 7180/1984 trata sobre a determinação do Limite de Plasticidade. O ensaio consiste primeiramente em preparar a amostra, destorroando uma quantidade suficiente de material seco ao ar, e passar na peneira nº 40 (0,425 mm). Misturar água com o solo até homogeneizar por completo, então deve-se retirar uma pequena porção do solo, cerca de 10 g.

Sobre uma placa de vidro esmerilhada deve-se rolar o solo até formar um cilindro com 3 mm de diâmetro e mais ou menos 10 cm de comprimento. Repete-se o procedimento anterior até que se consiga observar sinais de ruptura do cilindro, retirando as extremidades, e então coloca-se a parte central em uma cápsula para determinação da umidade.

Realizar o ensaio até obter no mínimo três resultados, cujas umidades não variem mais do que 5 % acima ou abaixo da média aritmética entre eles.

2.1.4 Geossintéticos

Tal como cita Bueno (2004), polímeros sintéticos são a matéria-prima dos produtos geossintéticos, com o acréscimo de alguns aditivos (em pequena quantidade) para promover

melhorias no seu processo de fabricação ou para mudar características próprias do polímero básico, adequando-o às necessidades de cada obra.

Bueno (2004) explica que polímero é uma cadeia carbônica formada por diversos monômeros (pequenas unidades de repetição) e grupos de ponta (que terminam a cadeia). Na fabricação de geotêxteis, os polímeros mais usados são o polietileno (PE), polipropileno (PP), poliéster (PET) e poliamida (PA). O polipropileno é o mais usado, apesar de ser muito suscetível à degradação química (oxidação). O polietileno apresenta boas características mecânicas e alta resistência química, mas é muito denso. O poliéster oferece alta resistência à tração, entretanto trechos de sua cadeia podem sofrer com um processo chamado hidrólise em condições ambientais ácidas ou alcalinas demais, por conta do oxigênio presente em sua estrutura molecular. Já a poliamida pode ter sua rigidez e estabilidade afetadas pela umidade. Ou seja, a diversidade de características de um polímero para o outro permite que a gama de aplicações dos geossintéticos seja ampla.

Bueno (2004) fala ainda que os aditivos mais utilizados são os que têm função plastificante, inibidora de raios ultravioleta (antiUV) ou antioxidante. Os plastificantes são misturados à resina para dar flexibilidade ao produto e só podem ser separados por meio de volatilização – exigindo cuidados contra o aquecimento do geossintético –, extração ou ataque biológico. Os inibidores de ultravioleta são importantes para evitar a fotoxidação, que rompe ligações do polímero. Precisa-se desses inibidores para proteger dos raios solares que podem atingir o material durante o transporte, a estocagem e a instalação, visto que, com a obra finalizada, geralmente o produto fica enterrado, o que proporciona uma longa vida útil (esse é um dos principais fatores que fazem os geossintéticos serem largamente utilizados na área de geotecnia). Polímeros também são suscetíveis à oxidação – ainda mais em ambientes com muito ozônio –, por isso há a necessidade de um aditivo antioxidante.

Pelo fato de serem produtos manufaturados, os geossintéticos apresentam vantagens em relação ao produto natural, como a execução mais rápida, a existência de um controle de qualidade (permitindo que as características exigidas em projeto sejam devidamente atendidas) e também o baixo custo. Todos esses benefícios causaram a expansão do uso de geossintéticos no Brasil, que são aplicados principalmente nas funções de filtro (deve permitir a passagem de fluidos, mas reter partículas sólidas) e dreno (deve permitir a passagem de líquidos com a menor perda de carga hidráulica possível) (BUENO e VILAR, 2004).

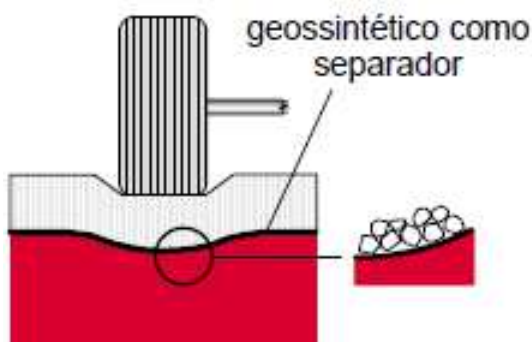
Para Ferreira (2009), em obras geotécnicas os geossintéticos possuem inúmeras vantagens em relação ao método convencional, tendo como as principais:

- O geossintético é submetido a diversos testes de controle de qualidade, garantindo a confiabilidade em suas propriedades, pelo fato de ser um material da construção manufaturado.
- A instalação do geossintético é mais simples que o método convencional (compactação das camadas), resultando na redução significativa do tempo, fator relevante na execução de obras.
- As espessuras de suas camadas são pequenas, ocupando um espaço menor do que seria necessário para drenos de areia ou camadas de argila compactada.
- Em regiões onde os materiais naturais apropriados para drenagem convencional são de difícil acesso ou até mesmo escassos, o uso do geossintético é uma solução viável.
- O estudo com geossintéticos vem crescendo a cada dia juntamente com sua tecnologia, ocasionando melhorias constantes do produto.

Diversas características, como peso molecular, morfologia das moléculas, cristalinidade e temperatura de transição vítrea (temperatura em que ocorre o fluxo plástico do material, deixando o estado sólido para um estado de mobilidade), afetam as propriedades dos polímeros – além dos processos de fabricação, aditivos utilizados, modo de estocagem etc. Devido à grande quantidade de polímeros que podem ser usados na fabricação de geossintéticos e à ampla gama de recursos que podem alterar suas qualidades principais, não se pode falar em um polímero melhor que o outro, mas sim em um que se aplica melhor a uma situação específica. Nesse contexto, cada obra deve ser analisada separadamente a fim de que se utilize o material mais adequado (BUENO, 2004).

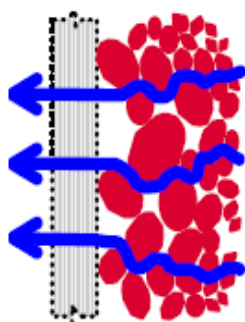
De acordo com Bathurst (2007), as principais utilidades dos geossintéticos são nas áreas de geotecnia, projetos ambientais, projetos hidráulicos e também em transporte, podendo, em alguns casos, o geossintético exercer mais de uma função.

Na função de separação, por exemplo, ele é aplicado entre duas camadas, ocorrendo a separação entre elas, impossibilitando que essas camadas – que possuem tamanhos de partículas diferentes – penetrem uma na outra se misturando, dessa forma faz com que as espessuras das camadas permaneçam conforme estabelecido em projeto. Pode-se observar tal situação na Figura 04 (BATHURST, 2007).

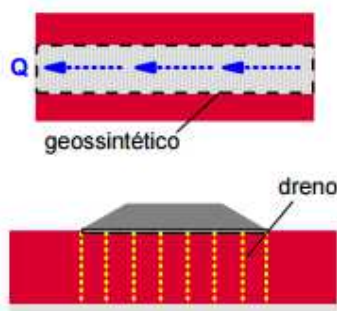
Figura 04: Geossintético como separador.

Fonte: Bathurst (2007).

Na filtração, Bathurst (2007) informa que o geossintético desempenha um papel similar ao de um filtro de areia, onde as partículas sólidas ficam retidas permitindo com que apenas ocorra a passagem de água, como se observa na Figura 05. É muito usado com objetivo de impedir a migração do solo para dentro de tubulações drenantes, o que entupiria os drenos e prejudicaria significativamente a sua eficiência. Essa função é geralmente exercida em conjunto com a de drenagem (demonstrada na Figura 06), que pode ocorrer através de drenos horizontais ou verticais. Nos casos de drenos horizontais, a drenagem ocorre através de geodrenos com fluxos não tão elevados, possibilitando a dissipação da água. Os drenos verticais são necessários quando há solos moles, que necessitam de uma drenagem mais rápida. Esses drenos verticais diminuem o trajeto da percolação da água, por isso, torna-se mais rápido.

Figura 05: Geossintético como filtro.

Fonte: Bathurst (2007).

Figura 06: Geossintético como dreno.

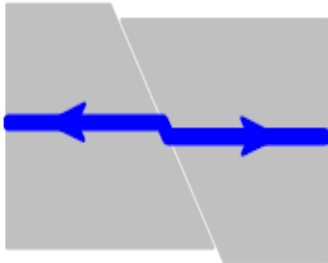
Fonte: Bathurst (2007).

O sistema de drenagem é fundamental para inúmeras obras da engenharia, sendo objeto de estudo cada vez mais frequente. Um bom sistema de drenagem retrata numa redução de

ocorrência de poropressões durante a construção e vida útil de uma obra, também direcionando o fluxo de água para o local desejado (FERREIRA, 2009).

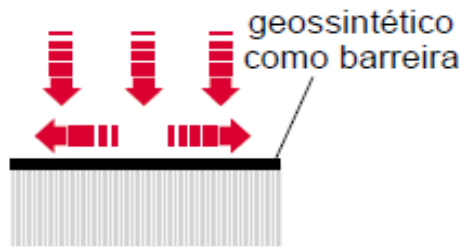
Bathurst (2007) cita ainda outras funções, como para reforço – melhorando a resistência de solos naturais, principalmente à tração -, para controle de fluidos, sendo impermeável – muito usado em asfaltos -, e para evitar processos erosivos ocasionados pelo escoamento superficial da água em taludes, evitando que partículas do solo sejam carregadas. As Figuras 07, 08 e 09 ilustram essas situações.

Figura 07: Geossintético como reforço.



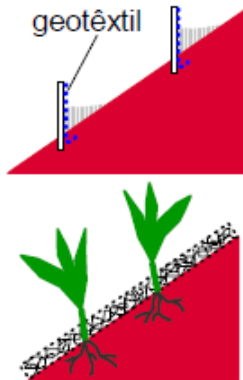
Fonte: Bathurst (2007).

Figura 08: Geossintético como barreira.



Fonte: Bathurst (2007).

Figura 09: Geossintético como controle de processos erosivos.



Fonte: Bathurst (2007).

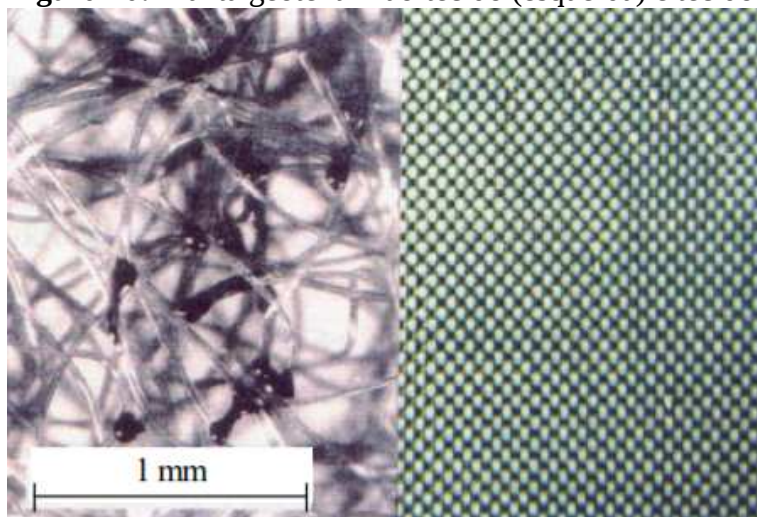
2.1.4.1 Geotêxteis

Para Aguiar e Vertematti (2004), os geotêxteis são materiais permeáveis que podem ser classificados em tecido, não-tecido ou tricotado. Como afirma Martins (2000), os materiais geotêxteis são flexíveis e planares, podendo ser constituídos por fibras têxteis aleatórias ou, em

alguns casos, ordenadas. Conforme a necessidade exigida para seu determinado uso é escolhido o tipo de geotêxtil que mais se adequa.

O geotêxtil tecido (GTw) constitui-se de monofilamentos, laminetes ou fios, entrelaçados em direções especiais chamadas de trama (transversal) e urdume (longitudinal). O geotêxtil não-tecido (GTnw) é feito de fibras cortadas ou filamentos contínuos interligados, de modo aleatório - sua imagem microscópica lembra um prato de macarrão -, por meio de processo mecânico (agulhado), térmico (fibras termoligadas por fusão parcial com o aquecimento) ou químico (resinado). A Figura 10 apresenta microscopicamente a diferença entre o tecido e o não-tecido. Já o tricotado nada mais é do que fios entrelaçados por tricotamento (AGUIAR e VERTEMATTI, 2004).

Figura 10: Manta geotêxtil não-tecido (esquerda) e tecido (direita).



Fonte: Google (2017).

Segundo Martins (2000), os tricotados são usados para fins de ganho de resistência, e sua produção é feita agregando-se duas técnicas: a de tecelagem e a de tricotagem. Eles são formados por feixes de multifilamentos com alta resistência. Os tecidos podem ser constituídos por fios fibrados, multifilamentos ou monofilamentos. Seus fios são ordenados em duas direções, na sua maioria formando um ângulo de 90 graus, por meio de uma técnica conhecida como tecelagem. Já os não-tecidos possuem fios ligados aleatoriamente através de processo mecânico, térmico ou químico. Em sua produção, sua espessura é definida através da velocidade da esteira rolante.

Segundo Bueno e Vilar (2004), há um grande número de funções que um geossintético pode desempenhar em uma obra de engenharia civil: controle de erosão, impermeabilização, proteção, reforço, separação, filtração e drenagem. Uma ou mais dessas funções são exercidas por cada um dos vários tipos de geossintéticos disponíveis no mercado, cabendo, aqui, destacar a versatilidade dos geotêxteis (únicos que são capazes de realizar todas elas).

De acordo com Aguiar e Vertematti (2004), os geotêxteis devem sua versatilidade de aplicação às suas propriedades hidráulicas (são as mais importantes quando se fala em drenagem) e mecânicas, que permitem isso. Bueno e Vilar (2004) afirmam que, para drenar, as duas propriedades hidráulicas com influência direta são a permissividade e a transmissividade - e ambas são afetadas (positiva ou negativamente) pela espessura do material.

Segundo Bueno e Vilar (2004), a permissividade (Ψ) relaciona-se diretamente com a permeabilidade (k_n) na direção normal ao plano do geotêxtil, que geralmente é muito alta, e inversamente com a espessura (t) da manta. Dessa forma, conforme aumenta a carga normal sobre o material, sua espessura diminui e a permissividade aumenta, ou vice-versa, como observa-se na Equação 4:

$$\Psi = \frac{k_n}{t} \quad (4)$$

Tratando-se de transmissividade (θ), Bueno e Vilar (2004) afirmam que a relação é direta tanto com a permeabilidade (k_p) - dessa vez na direção do plano - quanto com a espessura, pois quanto mais espesso for o material, maior a área que permite a passagem dos líquidos, portanto maior o volume percolado em determinado tempo (vazão). Conclui-se, então, que o aumento da carga normal sobre o material reduz a transmissividade dele, por reduzir a espessura, e vice-versa, conforme Equação 5:

$$\theta = k_p \cdot t \quad (5)$$

Existem vários tipos de geossintéticos que são utilizados em diversas formas. De acordo com Lima (2014), um tipo muito usado em obras hidráulicas é o geotêxtil não-tecido, devido a suas características de separação, filtração, drenagem e proteção.

O uso do geotêxtil não-tecido (Figura 11) para as funções hidráulicas substitui os materiais granulares, possibilitando rapidez de execução, devido a seu fácil manuseio, um

melhor controle tecnológico, e economia de material de empréstimo, sendo interessante para obras de aterros sanitários, coleta de lixiviados e sistemas de drenagem (LIMA, 2014).

Figura 11: Manta geotêxtil não tecido.



Fonte: Inovageo (2014).

3.1.2 Caracterização das amostras

Inicialmente foram realizados ensaios de caracterização das amostras para que, ao analisar como é o comportamento do solo quanto a escoamento de água e drenagem, os dados possam servir de base para estudos futuros e outros projetos.

Os ensaios realizados para caracterizar o saibro foram os de granulometria conjunta e índices de consistência, assim foi possível classificá-lo pelo sistema de classificação unificada, que é o mais utilizado atualmente (PINTO, 2006). Quanto à brita e à areia utilizada, foi realizado apenas ensaio de peneiramento, para classificá-los pelo tamanho das partículas e ter sua distribuição granulométrica, visto que nesse ensaio tratam-se de materiais secundários, ou seja, não exercem influência direta e expressiva no resultado do tempo de drenagem.

3.1.2.1 Ensaio de granulometria conjunta do saibro

Para determinar a granulometria do solo, foi realizado um ensaio de granulometria conjunta, que se subdivide em peneiramento e sedimentação. Foram seguidos os procedimentos ditos pela norma ABNT NBR 7181, iniciando-se pelo ensaio de sedimentação e depois o de peneiramento fino. Os equipamentos podem ser observados na Figura 13 e Figura 14.

Figura 13: Equipamentos do ensaio de sedimentação.



Fonte: Autor (2017).

Figura 14: Equipamentos do ensaio de peneiramento.



Fonte: Autor (2017).

3.1.2.2 Índices de consistência do saibro

Esses índices servem para especificar o comportamento da parte fina do solo (argila) na presença de água. Os limites se referem aos teores de umidade correspondentes às mudanças de estado do solo (quebradiço, plástico e líquido), e o índice de plasticidade é uma relação entre o limite de liquidez e o de plasticidade do solo que indica o quanto ele é plástico.

O limite de liquidez é um valor em que uma ranhura feita no solo em uma concha, no aparelho de Casagrande, requer 25 golpes para se fechar. No ensaio, misturou-se água com uma amostra do solo até que ocorreu a homogeneização. Após isso, levou-se ao aparelho para contabilizar os golpes necessários para fechamento de uma ranhura (dimensões normatizadas). Anotou-se a quantidade de golpes (que inicialmente deve ser maior do que os 25 buscados, para depois encontrar valores abaixo) e então adicionou-se água, repetindo o procedimento, tendo cada vez menos golpes (visto que a umidade foi gradativamente aumentando) (PINTO, 2006).

No final, Pinto (2006) diz que o teor de umidade para 25 golpes pode ser obtido por interpolação linear dos resultados. Para tal, foram adotados procedimentos de acordo com a NBR 6459/1984. Os equipamentos e o procedimento do ensaio podem ser observados conforme as Figuras 15 e 16.

Figura 15: Equipamentos do ensaio de limite de liquidez.



Fonte: Autor (2017).

Figura 16: Procedimento do ensaio de limite de liquidez.



Fonte: Autor (2017).

Já o limite de plasticidade é definido por Caputo (1988) como o menor teor de umidade em que ainda é possível moldar sem fraturar, rolando com a palma da mão, um cilindro de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento. Esse ensaio, diferentemente do ensaio para determinar o limite de liquidez, ainda não possui um processo mecanizado para ser realizado de modo satisfatório.

Os procedimentos realizados no ensaio foram de acordo com a norma ABNT NBR 7180/1984, que trata sobre a determinação do Limite de Plasticidade. O ensaio consistiu primeiramente em preparar a amostra, destorroando uma quantidade suficiente de material seco ao ar, e passar na peneira nº 40 (0,425 mm). Misturou-se água com o solo até homogeneizar por completo. Retirou-se uma pequena porção do solo, cerca de 10 g, e sobre uma placa de vidro esmerilhada rolou-se o solo até formar um cilindro com 3 mm de diâmetro e mais ou menos 10 cm de comprimento. Repetiu-se o procedimento anterior até que foi possível observar sinais de ruptura do cilindro, retirando então as extremidades, e colocando-as em uma cápsula para determinação da umidade. Foram realizados três ensaios. Os equipamentos e procedimentos podem ser observados na Figura 17.

Figura 17: Equipamentos e procedimentos do ensaio de limite de plasticidade.



Fonte: Autor (2017).

3.1.2.3 Ensaio de peneiramento da areia e da brita

Para a areia, foi realizado ensaio de peneiramento fino, nos mesmos moldes do ensaio de peneiramento descrito anteriormente, utilizando as peneiras com aberturas normatizadas de 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, 0,15 e 0,075 mm.

Quanto à brita, foi necessário realizar ensaio de peneiramento grosso, que, de acordo com a ABNT NBR 7181/2016, utiliza o jogo de peneiras com abertura de 50, 38, 25, 19, 9,5 e 4,8 mm. Da mesma forma que no fino, anotaram-se as massas retidas acumuladas, porcentagem que passa e, a partir desses dados, montou-se um gráfico representando a distribuição granulométrica, permitindo assim classificar a brita em 0, 1, 2, 3, 4 ou 5.

3.1.3 Ensaio experimental com a manta

Foram realizados dois ensaios, um simulando as camadas de solo conforme situação encontrada em campo e outro empregando a manta geotêxtil em substituição à camada de cascalho cerâmico.

Foi construída uma caixa de acrílico, nas medidas de 30x60 cm na base com 30 cm de altura. As paredes e o fundo da caixa foram feitos com espessura de 4 mm. Os cantos foram parafusados e selados com cola especial, tornando a caixa impermeável. Em uma das paredes menores, rente ao fundo, um furo para permitir o encaixe de uma mangueira corrugada com uma polegada de diâmetro de acordo com a Figura 18.

Com a caixa ainda vazia, foi feito um pequeno teste para conferir sua estanqueidade, jogando água e verificando todas as arestas e possíveis pontos de vazamento, conforme a Figura 19.

Figura 18: Caixa de acrílico.



Fonte: Autor (2017).

Figura 19: Teste de estanqueidade.



Fonte: Autor (2017).

Na Figura 20 observa-se que na mangueira, com auxílio de prego e martelo, foram feitas três fileiras de furos para a água entrar (uma na parte superior e as outras duas em suas laterais), permitindo uma boa eficiência na coleta.

Figura 20: Preparação dos furos na mangueira.



Fonte: Autor (2017).

No fundo da caixa, a primeira camada colocada foi de areia, apenas para garantir a inclinação de 2% necessária. Sobre essa camada de areia, colocou-se uma fina camada de saibro, com certa inclinação para o centro, onde passa a mangueira, com objetivo de induzir a água a ir em sua direção e facilitar a drenagem. Para impedir que partículas carregadas durante o ensaio entupissem os furos do dreno, ele foi envolto por manta geotêxtil, que agiu como filtro, como pode ser observado na Figura 21.

Figura 21: Camadas iniciais.



Fonte: Autor (2017).

A camada seguinte foi de aproximadamente 5 cm de brita 1 acima do tubo, conforme Figura 22. A compactação dessas três camadas inferiores foi realizada manualmente, pois, para os fins desse ensaio, não havia necessidade que fossem melhor compactadas.

Figura 22: Camada de brita.



Fonte: Autor (2017).

As camadas apresentadas até aqui foram comuns para ambos os ensaios, não sendo alteradas de uma situação para a outra.

O primeiro ensaio foi utilizando a manta geotêxtil não-tecido, colocando-a sobre a camada de brita e, acima dela, como camada superficial, 5 cm de saibro, conforme Figura 23. A manta deve exercer a função filtro-drenante, impedindo carreamento de partículas do saibro para as camadas inferiores.

Figura 23: Camada de saibro sobre a manta geotêxtil.



Fonte: Autor (2017).

A camada de saibro, por ser a superficial e interferir naquilo que está em análise nesse ensaio (o tempo de drenagem para as situações com manta e com cascalho cerâmico), passou por um processo maior de compactação. Utilizou-se como base a tabela de energias de compactação (Tabela 1) proposta pelo ensaio de Proctor (ABNT NBR 7182/1986).

Tabela 1: Energias de compactação.

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco espaçador (mm)	63,5	63,5	63,5

Fonte: ABNT NBR 7182/1986.

Essa tabela apresenta a quantidade de golpes para compactação de uma camada de solo, utilizando um cilindro específico. Pela proporção da área da caixa em relação à área do cilindro do ensaio, foi calculada a quantidade de golpes necessários para compactar o solo na caixa, que correspondeu a aproximadamente 596 golpes. Foram aplicados 600 golpes, distribuídos uniformemente por toda a superfície, deixando o solo devidamente compactado. Um cuidado tomado em relação aos golpes foi não bater o cilindro diretamente sobre o solo, pois as partículas poderiam grudar na base do equipamento e serem carregadas para seu interior, acumulando-se com o tempo e reduzindo a velocidade e a altura de queda, o que prejudicaria a compactação. Para tal, foi colocado um saco plástico sobre o saibro durante a aplicação dos golpes, conforme Figura 24.

Figura 24: Compactação da camada.



Fonte: Autor (2017).

Durante o processo de compactação descrito acima, percebeu-se a necessidade de reforçar a caixa, pois a pressão exercida pelo solo conforme recebia os golpes estava ficando grande demais e começando a forçar demais as paredes. Como as paredes maiores estavam abaulando, foi amarrado um fio de arame em torno do eixo perpendicular a elas para dar maior resistência e manter a área superficial inicial de ensaio. Por precaução, foi amarrada uma cinta com catraca em torno de toda a base da caixa, para reforçar os cantos e impedir que a pressão do solo a rompesse.

Terminada a construção das camadas, que simularam o solo de uma quadra de tênis de saibro utilizando manta geotêxtil como filtro-dreno, fixou-se uma mangueira na parte superior da caixa. Essa mangueira foi perfurada em vários pontos e, então, simulou-se uma chuva intensa sobre o protótipo por algum tempo, formando uma lâmina de água sobre toda a superfície. Após isso, reduziu-se a intensidade da chuva simulada, apenas para manter, por 24 horas, tal lâmina de água. Esse procedimento foi feito para que todo o solo da caixa pudesse ser saturado, assim simulando a pior situação numa quadra real, como pode ser observado na Figura 25.

Figura 25: Simulação de chuva intensa.



Fonte: Autor (2017).

Com a saturação terminada, foi medida a vazão de saída da água pelo dreno e pela mangueira. Três medidas foram tiradas, a fim de se obter um resultado mais preciso, como mostra Figura 26.

Figura 26: Coleta de vazão do dreno.



Fonte: Autor (2017).

3.1.4 Ensaio experimental com cascalho cerâmico

Encerrada a primeira coleta, a camada superficial de saibro foi retirada junto com a manta geotêxtil. Então, sobre a brita, foi colocado e levemente compactado o cascalho cerâmico, com 5 cm de espessura, como observa-se na Figura 27, e novamente compactado 5 cm de saibro por cima, agora simulando a situação real encontrada em quadras.

Figura 27: Camada de cascalho cerâmico compactado.



Fonte: Autor (2017).

O protótipo passou, então, por mais uma simulação de chuva intensa e ficou saturando por 24 horas, para então serem tomadas três medidas da vazão na saída do tubo drenante, como demonstrado anteriormente na situação com a manta.

Nesse caso também foi comparada a vazão de saída do dreno com a de saída da mangueira (ou seja, a vazão da chuva simulada), que permaneceu por 24 horas, para verificar a eficiência do sistema.

3.1.5 Análise dos dados

Após a coleta de dados, foi realizada a respectiva análise para saber qual a real eficiência e ganho de tempo na drenagem de uma quadra de tênis de saibro com manta geotêxtil. Os dados foram colocados em uma planilha eletrônica com o tempo e a vazão no sistema convencional e no sistema com a manta e posteriormente foi feita uma análise percentual comparativa entre eles. Por meio dessa análise em termos percentuais foi possível, por exemplo, aplicar os resultados numa escala maior, para o tamanho real de uma quadra.

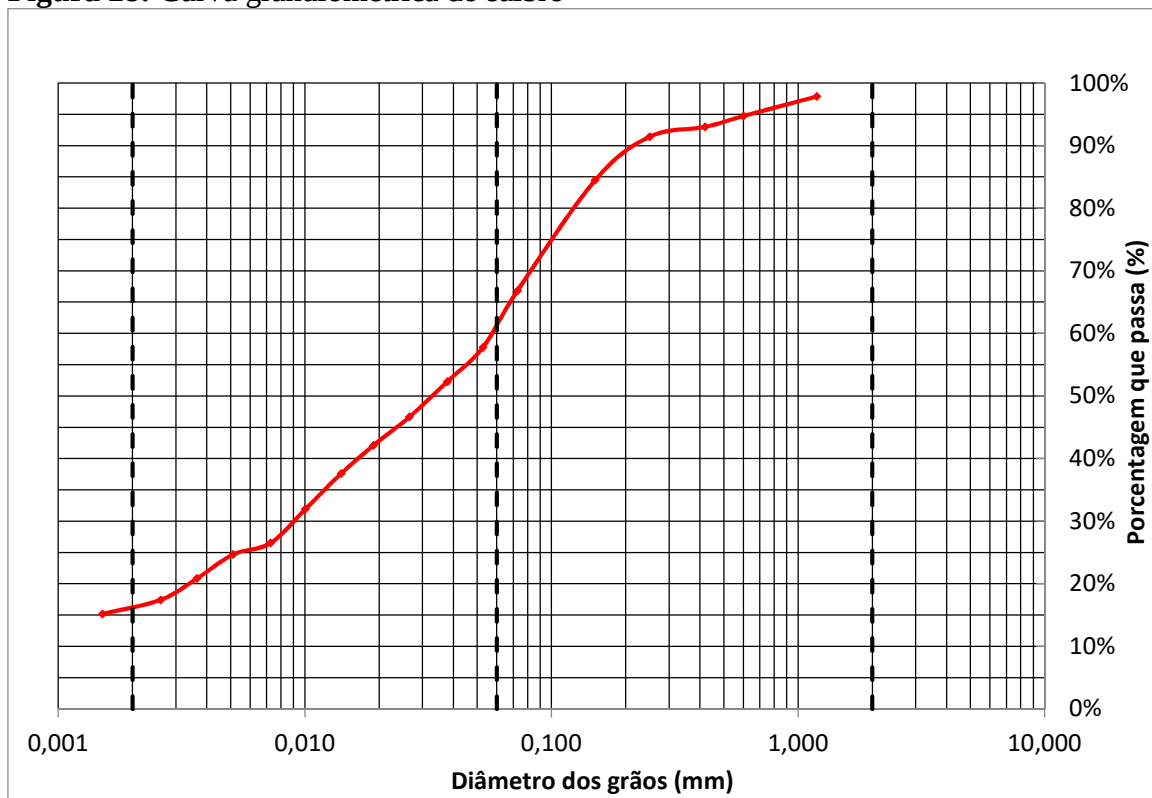
CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.1 Características do saibro

Quanto à granulometria, a curva obtida está apresentada na Figura 28.

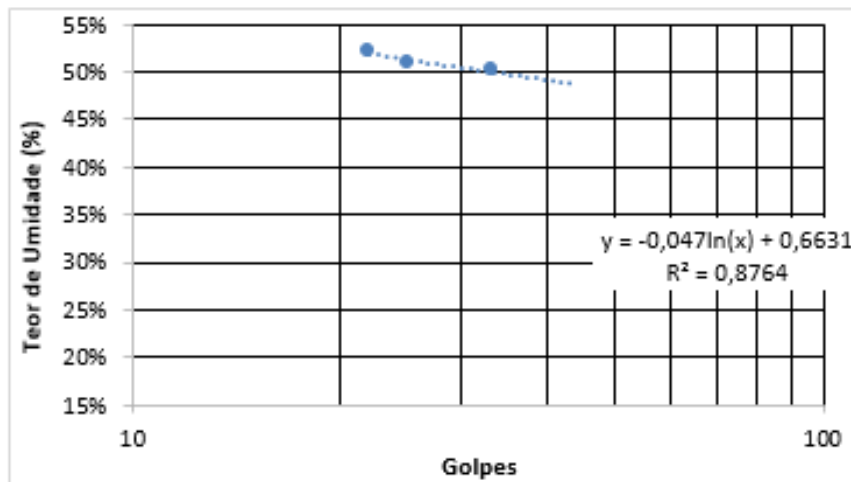
Figura 28: Curva granulométrica do saibro



Fonte: Autor (2017).

As porcentagens encontradas foram de 17% para argila, 45% para silte e 38% de areia, classificando-se em solo silte-arenoso.

Já quanto ao Limite de Liquidez, foram realizados três ensaios, dos quais foram extraídos os dados para compor o gráfico da Figura 29.

Figura 29: Gráfico do ensaio do Limite de Liquidez

Fonte: Autor (2017).

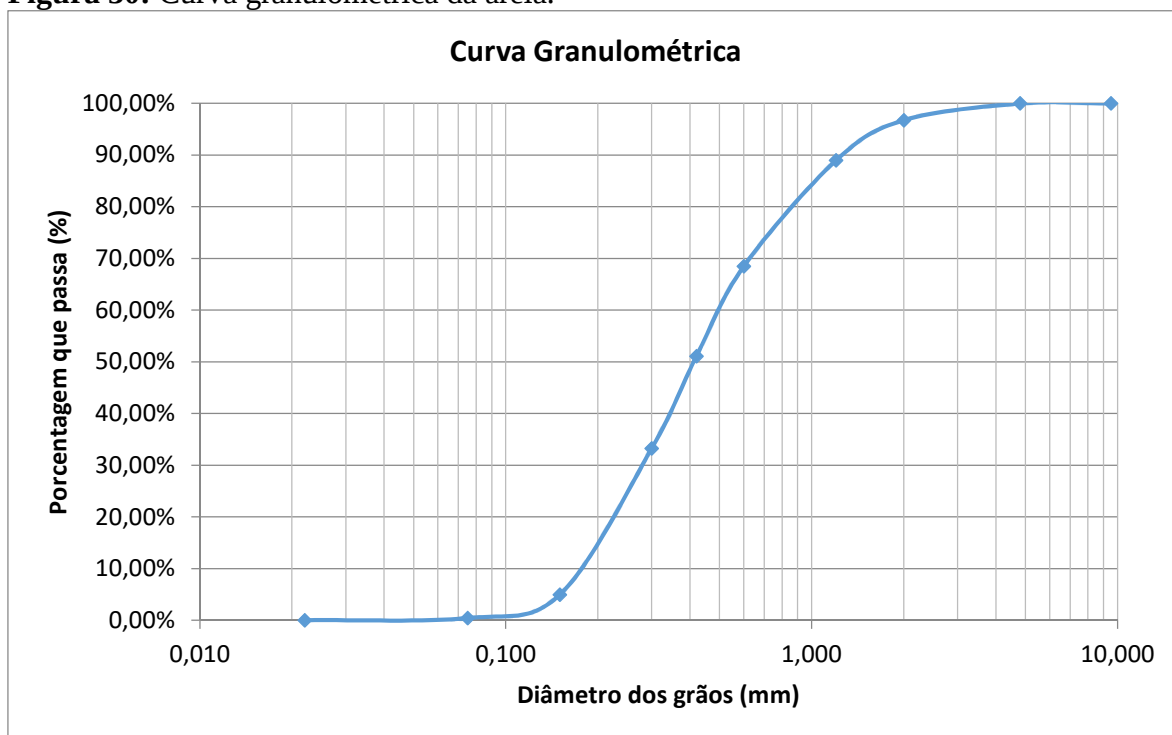
Através do gráfico, pode-se encontrar o teor de umidade correspondente à quantidade de 25 golpes, que representa o valor do Limite de Liquidez. Nesse caso o resultado encontrado foi 51,06%.

Para o Limite de Plasticidade foram feitas quatro amostras, a fim de se obter uma boa precisão. As amostras tiveram valores percentuais muito próximos (39,2%, 40,2%, 41,9% e 42%) e o resultado obtido para o Limite de Plasticidade foi 40,83%.

Tendo esses dois resultados, foi possível calcular o Índice de Plasticidade, que é a diferença entre os limites, ou seja, 10,23%, classificando-se em medianamente plástico.

4.1.2 Classificação da areia

Para a classificação da areia foi realizado ensaio de peneiramento fino com a amostra, no qual, os resultados obtidos estão demonstrados na Figura 30.

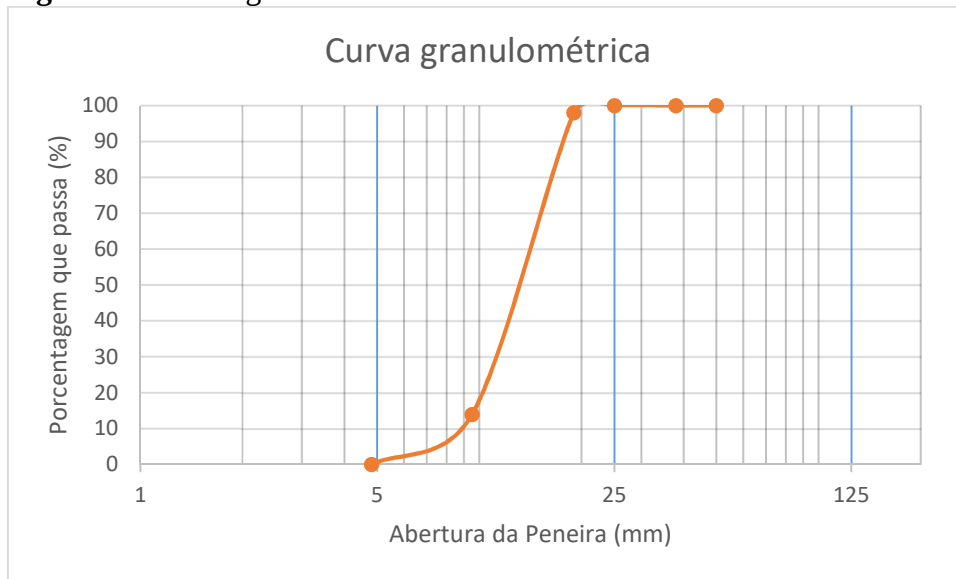
Figura 30: Curva granulométrica da areia.

Fonte: Autor (2017).

Com os dados devidamente coletados e organizados, foi realizada a classificação da areia, onde foi efetuada a verificação da porcentagem de cada tipo de solo presente na amostra, sendo que, as duas porcentagens com maior proporção resultam em sua classificação no grupo areia média a grossa.

4.1.3 Classificação da brita

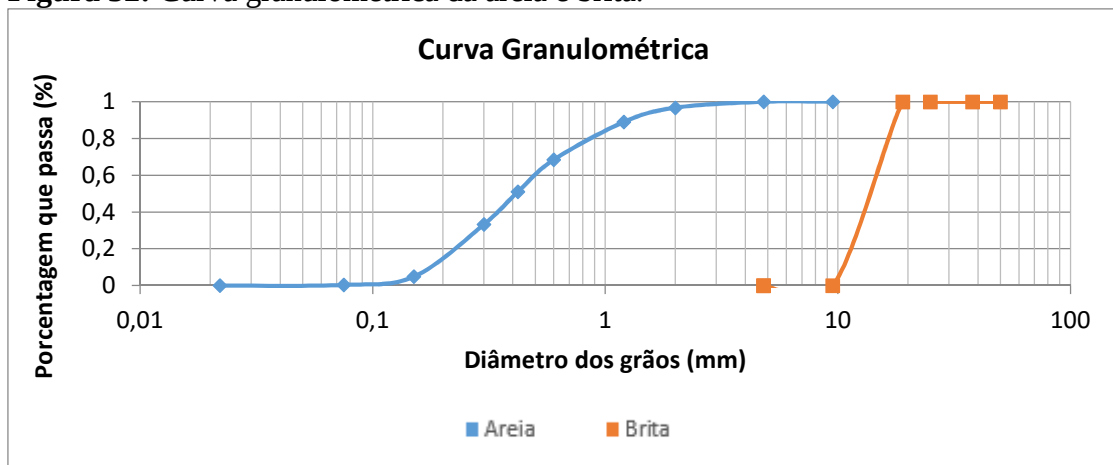
Para a classificação da brita foi realizado ensaio de peneiramento grosso com a amostra, no qual os resultados obtidos resultaram na curva da Figura 31.

Figura 31: Curva granulométrica da brita.

Fonte: Autor (2017).

Com os dados devidamente coletados e organizados, foi realizada a classificação da brita em brita 1.

A Figura 32 apresenta as curvas da areia e da brita em conjunto, onde pode-se verificar suas diferentes gradações.

Figura 32: Curva granulométrica da areia e brita.

Fonte: Autor (2017).

4.1.4 Ensaio de drenagem

Foi controlada a vazão de entrada da água pela mangueira, para então obter as vazões de saída como resultado do ensaio, como mostra a Tabela 02.

Tabela 02: Vazões do sistema de drenagem.

	Manta geotêxtil	Cascalho cerâmico
Vazão de entrada (ml/min)	470	470
Vazão de saída (ml/min)	170	100

Fonte: Autor (2017).

Isso significa que, para uma mesma vazão de entrada, o sistema com manta geotêxtil possui eficiência de drenagem 70% maior do que o com cascalho cerâmico.

Pode-se fazer uma relação de vazão drenada por metro quadrado, para que os resultados possam ser representados numa situação real de quadra.

Na caixa utilizada como protótipo, a largura é de 30 cm e o comprimento de 60 cm, resultando em uma área de superfície igual a 1800 cm², ou 0,18 m². Para ter um valor de vazão por unidade de área, basta dividir um pelo outro, encontrando assim aproximadamente 940 ml/min.m² para a manta e 560 ml/min.m² para o cascalho.

Conforme Stucchi (2006), a medida oficial de uma quadra de tênis é de 26 jardas (23,77 m) de comprimento e 12 jardas (10,97 m) de largura, resultando em uma área superficial de 260,76 m².

Conhecida a vazão (Q) por metro quadrado e a área da quadra, é possível, multiplicando esses dois valores (e ajustando a unidade para litros por minuto, por conta da área muito maior), calcular a quantidade de água drenada numa situação real. Com a manta, obtém-se vazão de drenagem da quadra igual a 245,11 L/min, enquanto com o cascalho é 146,03 L/min.

De acordo com Calvetti *et al.* (2005), uma chuva é considerada forte quando está entre 25 mm e 50 mm. Tomando como exemplo uma chuva torrencial de 50 mm em um dia, pode-se calcular o volume de água sobre a quadra para então calcular quanto tempo demoraria para drenar.

Com área de 260,76 m² e altura de lâmina de água de 0,05 m, obtém-se volume igual a 13,038 m³, ou 13.038,00 litros. Para calcular o tempo de drenagem, divide-se o volume encontrado pela vazão.

Assim, com a manta, o tempo para drenar a quadra nesse exemplo é de 53,19 minutos, enquanto com o cascalho levaria 89,28 minutos, ou seja, há uma diferença de cerca de 36 minutos.

Deve-se considerar que os desníveis do terreno para facilitar o escoamento, a compactação adequada e outras características próprias das quadras não são levadas em conta nesse cálculo de tempo. Entretanto, o ganho de eficiência de 70%, por ser expresso em termos percentuais, representa resultado fidedigno e confiável, podendo ser aplicado na situação real.

Caso haja torneios sendo realizados, com a necessidade de utilização das quadras o tempo todo, esse ganho de tempo torna-se fundamental para que o cronograma não seja tão afetado. De acordo com Alaby (2016), uma das medidas que podem ser adotadas, em alguns casos, é jogar querosene na quadra e atear fogo, objetivando evaporação instantânea da água presente. Entretanto, esse método é prejudicial à quadra e exige que seja jogada nova camada de saibro para haver condições de uso, o que deixa a quadra um pouco fofa e altera a jogabilidade, sendo apenas solução de caráter emergencial, e não algo passível de ser usado com frequência.

Esse ganho de eficiência da manta pode estar relacionado com os seguintes fatores:

- A espessura da camada é muito menor no caso da manta, pois é quase desprezível em relação aos 5 cm de espessura da camada de cascalho cerâmico. Dessa forma, diminui a distância que a água deve percorrer para atravessar a camada, contribuindo com a drenagem.
- A função separadora da manta é melhor, pois não permite que as camadas se misturem, enquanto no sistema com cascalho o saibro preencheu os vazios, atingindo até a camada de brita e alcançando o tubo drenante na parte inferior da caixa. Isso faz com que as camadas percam suas características básicas, inclusive a de permeabilidade (pois quanto menos vazios, maior a dificuldade para a água percolar). Além disso, com a manta, as medidas e definições de projeto são mantidas, melhorando a qualidade da obra.
- Na função de filtro, a manta geotêxtil demonstrou ser muito superior e impediu totalmente que a água carregasse as partículas do saibro e entupisse o dreno. O cascalho, por outro lado, não obteve resultado muito satisfatório nesse sentido, o que leva a crer que num sistema sem o produto geossintético, pode haver entupimento dos tubos drenantes.

CAPÍTULO 5

5.1 CONCLUSÃO

Esse trabalho objetivou, primordialmente, analisar o ganho de eficiência na drenagem obtida pela implantação de manta geotêxtil como elemento filtro-drenante em quadras de tênis de saibro, em substituição ao cascalho cerâmico comumente utilizado hoje em dia.

Foi construído um protótipo e realizaram-se ensaios verificando o tempo de drenagem em duas situações: a real, encontrada em quadras, e a proposta, com a manta. Para analisar a situação real, foi escavada uma amostra de uma quadra e averiguadas as camadas existentes e suas espessuras, a fim de representá-las no protótipo.

Os resultados obtidos foram satisfatórios, uma vez que se esperava um bom ganho de eficiência na drenagem com a manta, e o valor de 70% é realmente expressivo, permitindo que após uma chuva a quadra possa ser utilizada mais rapidamente, proporcionando um bem-estar aos praticantes do esporte.

Os materiais utilizados nos ensaios laboratoriais possuem características semelhantes ao encontrado em situação real, portanto o resultado pode ser considerado fidedigno e ensejar avaliações a nível econômico para saber se realmente é viável mudar o método de construção das quadras de tênis de saibro.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Verificar a viabilidade econômica de implantação do geotêxtil;
- Comparar e verificar a eficiência utilizando diferentes tipos de geossintéticos;
- Fazer estudo de eficiência utilizando tubos drenantes verticais;
- Utilizar um protótipo com os tubos drenantes na configuração “espinha de peixe”.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 6459 (1984). **Solo – Determinação do limite de liquidez**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 6p.

ABNT NBR 6502 (1995). **Rochas e solos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 18p.

ABNT NBR 7180 (1984). **Solo – Determinação do limite de plasticidade**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 3p.

ABNT NBR 7181 (2016). **Solo – Análise granulométrica**. 2.ed. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 12p.

ABNT NBR 7182 (2016). **Solo – Ensaio de compactação**. 2.ed. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 9p.

ABNT NBR 12553 (2003). **Geossintéticos - Terminologia**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 3p.

ABNT NBR 13529 (1995). **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 8p.

AGUIAR, J. E. **Como cuidar de sua quadra**. Disponível em <http://revistatenis.uol.com.br/artigo/como-cuidar-de-sua-quadra_1977.html> Acesso em: 10 abr.2017.

AGUIAR, P. R.; VERTEMATTI, J. C. Aplicações em Drenagens. In: VERTEMATTI, J. C. (Org.). **Manual brasileiro de geossintéticos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. Cap. 7, p.225.

_____. Introdução. In: VERTEMATTI, J. C. (Org.). **Manual brasileiro de geossintéticos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. Cap. 1, p.1.

ALABY, R. **Organização de torneio usa método incomum para secar quadra.** Disponível em <<http://tennisinfo.com.br/organizacao-de-torneio-usa-metodo-incomum-para-secar-quadra-assista/>> Acesso em: 11 out.2017.

ALVES, F. S. **Aplicação do geotêxtil Bidim no sistema de drenagem da quadra de tênis do Grande Hotel Canela.** Disponível em <<http://www.bidim.com.br/public/files/cases/136510512313651051236582775207.pdf>> Acesso em: 04 abr.2017.

BATHURST, R. J. **Funções dos geossintéticos.** Disponível em <<http://igsbrasil.org.br/wp-content/uploads/geossinteticos/2.pdf>> Acesso em: 31 mar.2017.

BUENO, B. S. Matérias-Primas. In: VERTEMATTI, J. C. (Org.). **Manual brasileiro de geossintéticos.** São Paulo: Edgard Blücher, 2004. Cap. 2, p.13.

BUENO, B. S.; VILAR, O. M. Propriedades, Ensaios e Normas. In: VERTEMATTI, J. C. (Org.). **Manual brasileiro de geossintéticos.** São Paulo: Edgard Blücher, 2004. Cap. 3, p.27.

CALVETTI, L. *et al.* **Definição de classes de precipitação para utilização em previsões por categoria e hidrológica.** Disponível em <www.cbmet.com/cbm-files/14-4fe4679ff7c6bb48f49254678b0a4345.pdf> Acesso em: 11 out.2017.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 6.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1988. 234p.

FERREIRA, J. C. **Estudo sobre drenagem e redução de umidade do minério de ferro de Carajás com a utilização de geossintéticos.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília.

FONTOURA, F. C. da. **Tênis para todos.** Canoas: Ulbra, 2003. 136p.

LIMA, M. J. de. **Utilização de geotêxtil não tecido como elemento constituinte de barreiras capilares.** 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília.

MARANGON, M. **Compressibilidade e adensamento dos solos**. Disponível em < <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/04-MS-Unidade-03-Compressibilidade-e-Adensamento-2013.pdf>> Acesso em: 01 jun.2017.

MARTINS, C. C. **Análise e reavaliação de estruturas em solos reforçados com geotêxteis**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

OLIVEIRA, M. B. de. **Verificação de algumas propriedades de argamassas com saibro da região de Uberlândia para assentamento de tijolos cerâmicos**. 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PASCHOALIN FILHO, J. A.; LIMA, D. W. de. **Construção de protótipo para estudo de drenagem em solo arenoso**. São Paulo: Exacta, 2007.

PERSIANI, F. **Conheça como são feitas as quadras de tênis e suas variações**. Disponível em <<http://tennisinfo.com.br/conheca-como-sao-feitas-asos-3-quadras-de-tenis-e-suas-variacoes/>> Acesso em: 11 out.2017.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 367p.

STUCCHI, S. **Tênis de campo**. Disponível em < https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwikip-Tj7nWAhXCfZAKHfO3BmUQFgg3MAM&url=http%3A%2F%2Fferramentas.unipinhal.edu.br%2Fmovimentoepercepcao%2Fincl ude%2Fgetdoc.php%3Fid%3D379%26article%3D110%26mode%3Dpdf&usg=AOvVaw1g0Te6FOy1yRPzQj5X_CTT> Acesso em: 11 out.2017.

TATTO, J. **Comportamento filtrante de geotêxteis não tecidos sob diferentes condições de apoio**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília.

VERTEMATTI, J. C. **Manual brasileiro de geossintéticos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. 413p.