



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
JOÃO CÉLIO DA SILVA
MARYANE PATRICIO DE JESUS

**PROPOSTA DE USO DE MISTURA SOLO/POLIETILENO TEREFALATO NA
REDUÇÃO DA PLASTICIDADE DE SOLOS ARGILOSOS NO ESTADO
COMPACTADO EM REATERRO DE OBRAS DE SANEAMENTO**

Tubarão
2020

JOÃO CÉLIO DA SILVA
MARYANE PATRICIO DE JESUS

**PROPOSTA DE USO DE MISTURA SOLO/POLIETILENO TEREFALATO NA
REDUÇÃO DA PLASTICIDADE DE SOLOS ARGILOSOS NO ESTADO
COMPACTADO EM REATERRO DE OBRAS DE SANEAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
do Sul de Santa Catarina como requisito parcial
à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Ismael Medeiros, Esp.

Tubarão
2020

JOÃO CÉLIO DA SILVA
MARYANE PATRICIO DE JESUS

**PROPOSTA DE USO DE MISTURA SOLO/POLIETILENO TEREFALATO NA
REDUÇÃO DA PLASTICIDADE DE SOLOS ARGILOSOS NO ESTADO
COMPACTADO EM REATERRO DE OBRAS DE SANEAMENTO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 07 de agosto de 2020.

Professor e Orientador Ismael Medeiros, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Rennan Medeiros, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Eng, Daiana Saviam da Silva
Engenheira Civil

Dedico este trabalho aos meus pais, a quem devo tudo que sou hoje.

João Célio da Silva

Dedico este trabalho a minha mãe, que me apoiou desde o início desta jornada, e não mediu esforços para que eu chegasse até aqui.

Maryane Patricio de Jesus

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Célio João da Silva e Valeria Trajano, que sempre me apoiaram nessa jornada acadêmica, e que me deram carinho e incentivo para que eu não desistisse diante das dificuldades.

Aos meus amigos, em especial Alan dos Passos Borges, Fabio Boger Zeferino, Daiane Silva de Jesus e Maryane Patricio de Jesus, que estiveram desde o início do curso comigo, dando incentivo, compartilhando risadas e até preocupações.

Ao meu orientador Ismael Medeiros que me auxiliou da melhor forma possível, transferindo conhecimentos, apoio e confiança a realização desse trabalho, e abriu caminho para os ensaios de laboratório, assim incentivando a pesquisa e aplicação.

E a todos que participaram comigo nessa formação acadêmica, o meu muito obrigado.

João Célio da Silva

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Ismael Medeiros, pela orientação, dedicação e confiança neste trabalho.

A minha dupla João Célio, por toda parceria e dedicação para que este TCC fosse realizado.

A universidade e seu corpo docente por todo conhecimento obtido nestes longos anos.

Aos meus familiares, namorado e amigos, que sempre se fizeram presentes de alguma forma, me incentivando e nunca me deixando desistir dos meus sonhos.

A empresa SanPET, pela doação dos materiais PET para os ensaios deste trabalho.

A todos que foram presentes direta e indiretamente durante esta trajetória, a minha gratidão.

Maryane Patricio de Jesus

“A Persistência é o caminho do êxito” (Charles Chaplin).

RESUMO

Este estudo propõe uma intervenção com o uso de solo/resíduo P.E.T. para a diminuição da plasticidade na condição compactada, reaproveitando o solo “bota fora”, a fim de apresentar uma semelhança ou melhora em relação ao solo natural. Foram realizados ensaios de caracterização das amostras com solo puro e diferentes teores de mistura solo/pó e solo/flake. Em complementação, foram elaborados ensaios de compactação e R.C.S para analisar o comportamento geomecânico no estado compactado nos diferentes teores. Observou-se que a mistura com flake não é a ideal para o solo de argila orgânica, sendo assim, a mistura classificada como ideal foi a de 15% de pó de P.E.T, que apresentou resultados bem similares com a do solo puro, ademais, mostrou uma melhora na impermeabilização, reduzindo a plasticidade e diminuindo as chances de um dos fatores que causam as manifestações patológicas, como trilhas de rodas, trincas e entre outros elementos relacionados à plasticidade da base.

Palavras-chave: Compactação. R.C.S. Reuso de P.E.T.

ABSTRACT OU RÉSUMÉ OU RESUMEN

This study wants to propose an influence with the use of soil/waste product P.E.T. to loss the plasticity in summarized condition reclaiming the soil's discard, in order to propose a similarity or a recovery with regard to natural soil. It was verified through the characterization's trials with pure soil and different degrees of soil/powder and soil/flake combinations. As a complement, it has been made trials of compactions and resistance to single compression to examine the geomechanical's behavior in a compressed state in several degrees. It was noted that combination with flake is not the ideal for organic clay. Consequently the right combination is made of 15% powder's P.E.T., which has performed results very similar to pure soil and a improvement in waterproofing, reducing the plasticity and declining the chances of factors that cause manifestations of pathologies as trails of wheels, cracks, among other elements related to base's plasticity.

Keywords: Compaction. Resistance to single compression. Reuse of P. E. T.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Curva de liquidez.....	30
Figura 2 – Relação entre velocidade, volume e densidade	46
Figura 3 – Relação entre as velocidades médias no tempo e no espaço	50
Figura 4 – Fluxograma.....	55
Figura 5 - Solos de Tubarão	58
Figura 6 - Resultados da granulometria da amostra 1.....	64
Figura 7 - Resultados da granulometria da amostra 2.....	65
Figura 8 – Reta de escoamento do limite de liquidez	66
Figura 9 - Exemplo de carta de plasticidade	68
Figura 10 - Carta de plasticidade	69
Figura 11 - Comparação das curvas de compactação	73
Figura 12 - Linha de tendência do solo puro comparado com as misturas	77
Figura 13 - Limite de Liquidez e Plasticidade.....	83
Figura 14 – Amostra no dispersor para a sedimentação.	83
Figura 15 – Transferindo amostra 1 para a proveta.....	84
Figura 16 – leitura da amostra 2 na sedimentação.....	85
Figura 17 - Realização do Ensaio de Densidade Real das Partículas	86
Figura 18 - Rompimento do corpo de prova 1	87
Figura 19 - Rompimento do corpo de prova 2	88
Figura 20 - Corpos de prova.....	89
Figura 21 - Mistura solo/P.E.T.	89
Figura 22 - Corpos de provas rompidos.....	90
Figura 23 – Ensaio de Proctor normal com a mistura solo/P.E.T.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumos das etapas	42
Tabela 2 - Principais dimensões básicas dos veículos de projeto.....	48
Tabela 3 - Resultados da curva de compactação	70
Tabela 4 - Resumo da análise de variância	75
Tabela 5 - Resultados da análise de variância	76
Tabela 6 - Teste-z: duas amostras para médias	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Etapas de construção da via no método empírico	43
Quadro 2 - Manifestações patológicas geradas	44
Quadro 4 - Dados para o cálculo do número n.....	59
Quadro 5 - Resultados do limite de liquidez	65
Quadro 6 - Resultados do limite de plasticidade	66
Quadro 7 - Resultados de densidade real das partículas	67
Quadro 8 - Classificação do IC.....	67
Quadro 8 - Resultados do R.C.S.....	74

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

P.E.T. - Polietileno Tereftalato

I.B.G.E. - Índice Brasileiro de Geografia e Estatística

NBR - Norma Brasileira

PV - Poço de Visita

Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Solos

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

NP – Não plástico

AASHTO - American Association of State Highway Transportation Officials

ISC - Índice de suporte Califórnia

IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias

PCA - Portland Cement Association

IG - Índice de Grupo

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EAI - Emulsão Asfáltica para Imprimação

VP - Classificados como veículos leves, sendo os carros automóveis, vans, pick-ups, minivans e similares.

CO - Classificados como veículos para uso comercial, tendo sua estrutura rígida e não sendo articulada. São os ônibus convencionais e caminhões. Geralmente com 4 a 6 rodas e dois eixos.

O - Classificados como veículos para uso comercial, de grandes dimensões e rígidos. São os ônibus de turismo e de percurso longo, caminhões de três eixos maiores que o CO. Sua largura geralmente tem o máximo limite que se pode ter para veículos em forma rígidos.

SR - Classificados como veículos articulados para uso comercial, composto por cavalo mecânica ou tratora simples, e o semi-reboque. Sua dimensão é na maioria das vezes a máxima permitida para veículos desse porte.

RE - Classificados como os veículos de uso comercial com a parte do reboque inclusa. Geralmente encontrada com o nome de bitrem, é composta por um reboque, um remireboque e uma tratora simples.

VMDa - Volume Médio Diário Anual

VMDm - Volume Médio Diário Mensal

VMDs - Volume Médio Diário Semanal

VMDd - Volume Médio Diário em um Dia de Semana

CBR - Índice Suporte Califórnia

RCS - Resistencia a Compressão Simples

Eua - Estados Unidos da América

ABIPET - Associação Brasileira da Industria do PET

LL - Reta de escoamento

LISTA DE SÍMBOLOS

h - Teor de umidade, em porcentagem

Ph - Massa do solo úmido

Ps - Massa do solo seco em estufa entre 105 °C a 110 °C

N - Número de golpes de um ponto do ensaio

K - Valor em função do número de golpes de um ponto do ensaio

h - Teor de umidade correspondente ao número de golpes

LL - Limite de liquidez

LP - Limite de Plasticidade

μ_a - Massa específica da água em g/cm^3

δ - Densidade real do solo

V_s - Volume da pastilha de solo seco em g

P_s - Peso da pastilha de solo seco em g

V_s - Volume da pastilha de solo seco em g

P_s - Peso da pastilha de solo seco em g

h_1 - teor de água

LC - Limite de contração

RC - Razão de contração

γ_h - massa específica aparente do solo úmido em g/cm^3

$P'h$ - peso do solo úmido compactado

V - Volume do solo compactado em cm^3

γ_s - massa específica aparente do solo seco em g/cm^3

γ_h - massa específica aparente do solo úmido em g/cm^3

ϵ - deformação específica

ΔH - decréscimo de altura do corpo-de-prova

H_0 - altura inicial do corpo-de-prova

A - Área corrigida em cm^2

A_0 - área inicial do corpo-de-prova em cm^2

ϵ - deformação específica

p - pressão em KN/m^2

P - Carga aplicada ao corpo-de-prova em KN

A - Área corrigida do corpo-de prova em m^2

μ_h - massa específica aparente do solo úmido em g/cm^3

$P'h$ - peso do solo úmido compactado
 V - Volume do solo compactado em cm^3
 γ_s - massa específica aparente do solo seco em g/cm^3
 γ_h - massa específica aparente do solo úmido em g/cm^3
 h - Teor de umidade do solo compactado
 V_t - Volume total de tráfego
 ρ - Período
 P - Fator pista
 t - Tempo
 $F.E$ - Fator de eixos
 $F.C$ - Fator de carga
 $F.V$ - Fator de Veículo
 V_t - Volume total de tráfego
 V_{mv} - Velocidade média de viagem (km/h)
 L - Comprimento do trecho (km)
 T_i - Tempo de viagem do veículo i (h)
 n - Número de veículos observados
 F_{mt} - Fluxo médio no trecho em (veic/h)
 V_{mt} - Velocidade média no trecho (km/h)
 n - Números mínimo de pontos necessários (tamanho mínimo da amostra).
 t - Valor da distribuição t , com $(1 - \alpha/2)$ nível de confiança e $N - 1$ graus de liberdade.
 α - Nível de significância.
 N - Número total de links (população) da qual uma amostra deve ser selecionada.
 S - Estimativa do desvio padrão espacial dos volumes dos links.
 E - Margem de erro tolerável.
 Y - Variável
 R^2 - Coeficiente angular
 IC - Índice de Consistência
 LL - Limite de liquidez
 h - Umidade
 IP - Índice de Plasticidade
 SQ - Soma de quadrados
 gl - Grau de liberdade

MQ - Quadrados médios

F - Teste estatístico

Valor-P - Nível de significância

F Crítico - Teste estatístico tabelado

ANOVA - Análise de Variância

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Determinar a umidade.....	31
Equação 2 - Limite de liquidez.....	31
Equação 3 - Limite de liquidez.....	31
Equação 4 - Valor em função do número de golpes em um ponto do ensaio	31
Equação 5 - Índice de plasticidade	32
Equação 6 - Limite de contração	33
Equação 7 - Razão de contração.....	33
Equação 8 - Mudança volumétrica	33
Equação 9 - Massa específica aparente do solo úmido após compactação.....	34
Equação 10 - Massa específica aparente do solo seco após cada compactação.....	34
Equação 11 - Cálculo da massa específica.....	35
Equação 12 - Cálculo da área corrigida do corpo-de-prova	35
Equação 13 - Cálculo da pressão exercida.....	36
Equação 14 - Determinar a massa específica úmida.....	37
Equação 15 - Massa específica aparente do solo seco compactado	37
Equação 16 - Índice de suporte Califórnia.....	37
Equação 17 - Volume médio de tráfego.....	48
Equação 18 - Volume total de tráfego (num sentido).....	49
Equação 19 - Número de eixos simples padrão.....	49
Equação 20 - Número de eixos simples padrão.....	49
Equação 21 - Velocidade média de viagem	50
Equação 22 - Densidade real do solo.....	51
Equação 23 - Cálculo do número de amostras	59
Equação 24 - Índice de consistência.....	67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	22
1.1 JUSTIFICATIVA	22
1.2 OBJETIVO.....	23
1.2.1 Objetivo geral	23
1.2.2 Objetivos específicos	23
2 REVISÃO DE LITERATURA	24
2.1 SANEAMENTO.....	24
2.1.1 Execução do saneamento	25
2.1.2 Detalhamento da execução	26
2.2 SOLOS	27
2.2.1 Tipos de Solos	27
2.2.2 Análise de Solos	29
2.2.2.1 Descrição da granulometria	29
2.2.2.2 Descrição dos limites de Atterberg	29
2.2.2.2.1 <i>Descrição do limite de Liquidez</i>	30
2.2.2.2.2 <i>Descrição do limite de Plasticidade</i>	31
2.2.2.2.3 <i>Descrição dos limites de Contração do Solo</i>	32
2.2.2.3 Descrição do ensaio de compactação	34
2.2.2.4 Descrição do ensaio de Resistencia a Compressão Simples.....	35
2.2.2.5 Determinação do Índice de Suporte Califórnia.....	36
2.3 PAVIMENTO	37
2.3.1 Pavimentos Rígidos	39
2.3.2 Pavimentos Flexíveis	42
2.3.3 Pavimentos Semirrígidos	43
2.3.4 Manifestações Patológicas Geradas	44
2.3.5 Estudo de Tráfego	45
2.3.5.1 Volume	46
2.3.5.2 Velocidade	49
2.3.5.3 Densidade.....	51
3 RECICLAGEM DO P.E.T	52
3.1 BENEFÍCIOS SOCIAIS	52
3.2 BENEFÍCIOS ECONÔMICOS	52

3.3	BENEFÍCIOS AMBIENTAIS	52
3.4	UTILIZAÇÕES DO P.E.T.....	52
3.4.1	Flake (flocos) e pó de P.E.T.	53
4	METODOLOGIA	54
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	57
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE TUBARÃO	57
5.1.1	Localização das amostras.....	57
5.1.2	Características gerais da região.....	58
5.1.3	Carta dos solos de Tubarão	58
5.1.4	Características dos pontos de estudo.....	58
5.1.5	Descrição do politereftalato de etileno	60
5.1.5.1	Características do material.....	61
5.1.5.2	Utilização na construção civil.....	62
5.1.6	Propriedades do solo oriundos de escavação de valas	63
5.2	ENSAIOS.....	63
5.2.1	Granulometria.....	64
5.2.2	Limites de atterberg.....	65
5.2.3	Densidade real das partículas.....	66
5.2.4	Índice de consistência.....	67
5.2.5	Carta de plasticidade	68
5.2.6	Ensaio de compactação.....	69
5.2.7	Ensaio de RCS.....	73
6	CONCLUSÃO	78
	REFERÊNCIAS.....	80
	APÊNDICE A – FOTOS DOS ENSAIOS.....	83

1 INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral que o saneamento básico ajuda a prevenir doenças. A Lei 11.445/07, que abrange nacionalmente os municípios, estabelece o abastecimento de água, esgoto, manejo e limpeza dos efluentes de forma eficaz para a população e o meio ambiente.

O emprego da drenagem também é disponibilizado juntamente da gestão de águas pluviais, fiscalização e limpeza preventiva de acordo com as características locais.

Parte do processo de implantação do saneamento se dá por meio da abertura da pavimentação, assim obrigando a fazer uma restauração no asfalto, que por muitas vezes sofre deformações devido ao manuseio de forma incorreta.

1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – I.B.G.E, o último censo realizado aponta que pouco mais de 8% dos municípios Brasileiros possuem o serviço de saneamento devidamente implantado. A falta de saneamento básico nos municípios reflete no elevado custo com saúde pública no tratamento de doenças e/ou enfermidades relacionadas ao tema.

O município de Tubarão atualmente passa pelo processo de implantação do sistema de saneamento e, decorrente da natureza dos serviços, apresentam-se naturais alguns transtornos aos transeuntes, destacando-se a obstrução de vias, dificuldades em acesso aos imóveis, entre outros. Um dos principais problemas resultantes da implantação dos serviços está relacionado com a reconstrução das vias, visto que estas acabam gerando manifestações patológicas.

Apesar da progressão de técnicas e aplicação de novas tecnologias, a parte de reconstrução ainda sofre problemas que podem estar relacionados com a qualidade do material ou a forma de execução, seja por falta de informação dos projetistas e executores ou pelas datas de entrega, afinal uma rua movimentada não pode parar por muito tempo. Conjuntamente das condições climáticas desfavoráveis, todos os fatores citados anteriormente geram problemas patológico futuros, que por estas, acabam gerando transtornos para os usuários.

As técnicas construtivas tradicionais para a reconstrução de capa asfáltica foram desenvolvidas para usos rodoviários. As inúmeras particularidades que envolvem obras urbanas

decorrem de diferentes fatores e suas interrelações, refletindo em algumas inconsistências quanto a aplicação de técnicas voltadas às obras rodoviárias.

O desenvolvimento de técnicas de repavimentação asfáltica nas obras de implantação do sistema de saneamento tem como objetivo principal a melhoria das ruas e rodovias que dão acesso aos veículos, que por sua vez se tornaram cada vez mais numerosos. Mesmo com o surgimento de novas tecnologias e pesquisas para novas técnicas de pavimentação, o maior problema das grandes cidades ainda é quando se precisa abrir o asfalto, afinal, a melhor alternativa para a manutenção de saneamento começa “por baixo”. Quando se precisa fazer um ajuste nas tubulações ou na parte de sistema de abastecimento de água, a reconstrução da camada asfáltica nem sempre é tratada da forma que deveria, gerando sérios problemas de recalque e outros problemas patológicos. Para tanto, busca-se métodos que amenizam a falha na pavimentação gerada pela reconstrução das obras de saneamento.

Entrando na questão da abertura do pavimento e sua restauração, **será que é possível amenizar os problemas relacionados a presença de manifestações patológicas provenientes da plasticidade em obras de saneamento?**

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo geral

Determinar parâmetros para reuso de solos considerados inservíveis no estado compactado, a partir da alteração de suas propriedades físicas a partir do acréscimo de Polietileno Tereftalato - P.E.T em diferentes teores solo/P.E.T.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar a caracterização geotécnica do material proveniente de escavação de valas;
- Realizar a caracterização do resíduo P.E.T.;
- Realizar estudos da mistura solo/P.E.T em diferentes teores no estado compactado;
- Identificar a melhor relação solo/P.E.T na composição de elementos no estado compactado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SANEAMENTO

Segundo o I.B.G.E., para um local ser considerado desenvolvido, é necessário que haja suprimentos básicos para o bem-estar e a saúde da população e para evitar agressões ao meio ambiente, pois quanto mais preventivo o sistema de saneamento for, menor será a chance de contágios com agentes agressores externos. Com isso, reduz as chances de os usuários procurarem postos de saúde e hospitais e proporciona uma melhor qualidade de vida, desta forma, é de suma importância que tenha o sistema de saneamento implantado. Este, por sua vez, é dependente do sistema de gestão do município que, perante lei, são obrigados a ter um plano para os serviços básicos. As chamadas “concessionárias” são as prestadoras de serviços de saneamento e são contratadas por meio de licitações públicas, portanto devem cumprir o dever com a população em manter um trabalho efetivo de acordo com o direito do consumidor e as políticas de tarifas mediante a contrato.

As obras de saneamento, tanto na execução quanto nas manutenções, têm o objetivo de sempre atender e facilitar as necessidades de todos, para isto, é necessário que aconteça uma reabertura no pavimento, do qual é composto por base, sub-base e subleito. Para estas obras, é preciso equipamentos específicos para a remoção da capa asfáltica (MINISTÉRIO DA CIDADES, 2008).

Algumas maneiras para se realizar a abertura do solo são os métodos destrutivo e não destrutivo. No método destrutivo, há uma abertura na vala a céu aberto no início da superfície do solo até o local onde deve ser inserido os tubos, sendo considerada a técnica mais utilizada. Já no método não destrutivo, é utilizado máquinas que adentram horizontalmente o subsolo entre duplos pontos de acesso onde serão colocadas as tubulações. Diferentemente da maneira destrutiva, não é necessário a abertura de toda a região que passa as tubulações, desta forma, não afeta a vida dos usuários que precisam percorrer aquela via. Entretanto, esse tipo de método só deve ser utilizado em caso de implantações de novas tubulações e não em apenas manutenções das já existentes (MINISTÉRIO DA CIDADES, 2008).

2.1.1 Execução do saneamento

A construção deve ser acompanhada o tempo todo, desde com a equipe de topografia até a entrega final, segundo a NBR 9814 (ABNT, 1987):

1. Locação - Logo de início, tendo o projeto em mãos se executa a locação no local para a implantação da obra, deve ser providenciado algumas especificações como adensar a rede, restabelecer a locação reconstituindo os piquetes com o eixo da vala, também demarcar no terreno as canalizações, dutos, caixas, levando em consideração o erro máximo de 5 mm/km. Vale lembrar que tantos os projetos quanto os trabalhos na rede de saneamento são geralmente demorados, isso ocorre por conta do serviço que é executado de PV a PV, que são trechos a serem estudados e trabalhados de ponto a ponto.

2. Sinalização - Depois da locação ser devidamente feita, deve-se sinalizar o local da obra com o intuito de se evitar acidentes, deixando o ambiente livre de trânsito e de pedestres, também se deve manter um escoamento superficial da água.

3. Rompimento da pavimentação - O rompimento e remoção da pavimentação deve ser executada com um acréscimo de 20 cm para cada lado do leito da rua, assim aumentando sua largura, e em caso de ser executado no passeio esse acréscimo na largura é de 5 cm para cada lado. A escavação da vala deve ser somente executada quando as posições forem confirmadas e seus respectivos instrumentos e materiais estiverem no local da obra, onde o sentido do eixo deve ser aberto no sentido de jusante a montante.

4. Escoramentos - Após a abertura da vala, em casos que a profundidade dela seja superior a 1,5 m deve-se executar um escoramento para assegurar sua estabilidade. E em casos como se for atingido por um lençol freático deve ser executado um esgotamento para manter o terreno devidamente drenado, sendo feito por meio de bombas no fundo da vala e drenos juntos ao escoramento, fora da faixa de assentamento da tubulação para que seja feito poços de sucção protegidos por cascalho ou pedra britada, e somente em caso excepcionais que poderá ser feito o rebaixamento dos lençóis freáticos por meio de ponteiros filtrantes, nesses casos deve se manter atenção dobrada porque pode ocorrer recalque danificando as tubulações executadas, outros dutos, tubos e até mesmo as fundações das residências e prédios vizinhos.

5. Reenchimento - Deve ser executado pela lateral do tubo, sendo o material colocado aos poucos, de preferência com materiais de boa qualidade sem pedras e outros

corpos estranhos, o restante do preenchimento é feito até o nível da base do pavimento ou até o leito da rua, e em casos de estrada de terra, o preenchimento do material deve ser de boa qualidade, e executado em camadas de 20 cm, a compactação obrigatoriamente sendo feita de forma mecânica.

6. Poços de visitas - Os poços de visitas ou PV como são mais conhecidos, devem ser executados como indicado nos projetos e também tem que estar conforme a NBR 9649, quando terminada a câmara, ela fica voltada a montante com seu centro localizado sobre o eixo da coletora principal, tendo uma laje de concreto armada e uma abertura de 0,60 m para auxiliar nas vistorias e manutenções.

2.1.2 Detalhamento da execução

Para evitar rompimento nas tubulações por esforços acidentais na abertura da vala, devem ser obedecidos os ângulos de declividade previsto na etapa anterior pela equipe de topografia, da qual é responsável pela realização dos estudos sobre as cotas de níveis e marcações de PV do local. Se for necessário, alguns rebaixos chamados de nichos – que funcionam como apoio – ou cutelo, devem ser escavados ao redor das tubulações a fim de evitar o rompimento (MINISTÉRIO DA CIDADES, 2008).

Assim que ocorre o assentamento é dado início ao processo de reaterro. Nesse processo são utilizados materiais que não contenham britas, como areia média de até 1/2 do diâmetro do tubo, depois é utilizado soquete de madeira para compactar manualmente. Após isso, toda a tubulação deve ser coberta com o material igual ao adotado anteriormente e ainda é utilizado a mesma técnica de 0,20 m de compactação manual. Em sequência, deve-se utilizar materiais mais convencionais, e podem ser empregados compactares mecânicos até o início da vala em camadas de 0,20 cm. No reaterro pode ser aplicado o método de compactação hidráulica com a aplicação de material pouco coeso, como a areia (MINISTÉRIO DA CIDADES, 2008).

Após ocorrer o assentamento, dá-se o início ao processo de recomposição da capa asfáltica, que deve ocorrer o mais breve possível para que o tráfego de veículos e pedestres possa voltar ao normal. Os tipos de materiais usados devem ser os mesmos que já existiam antes. O último processo dá-se pela limpeza da obra, entretanto, esta deve ser constante durante todo a execução da obra a fim de evitar possíveis acidentes e incômodos aos usuários. O chamado “bota fora” – resíduos de solo que sobraram – a princípio não terão mais utilidade, sendo assim, a empresa contratante dos serviços disponibiliza um local para o descarte adequado (MINISTÉRIO DA CIDADES, 2008).

2.2 SOLOS

O solo foi descoberto pelos homens há mais de trinta mil anos e, no início, os primitivos acreditavam que servia para o cultivo de frutas, vegetais, pigmentar suas artes e para o barro. Para diferenciar os solos, era necessário analisar qual supria melhor a necessidade em determinado elemento, como nas plantações, verificando qual solo tinha o desempenho mais satisfatório (LEPSCH, 2010).

O solo em sua essência é uma rocha que sofre degeneração com o tempo, juntamente de seus minerais e matérias orgânicas, dos quais podem se transformar em material saprolito ou argiloso. Na engenharia Civil, pode-se definir o solo como um material que pode ser escavado pelo homem com escavadeira, pá, entre outras ferramentas, sem necessidade do uso de material explosível (LEPSCH, 2010).

Para a análise do solo é necessário obter as informações quando o solo encontra-se em seu estado natural. Para o estudo detalhado de cada tipo de solo, deve-se realizar uma pesquisa em campo, onde será possível verificar informações como as camadas, cor, profundidade, espessura, estrutura, textura, consistência, entre outras. Após isto, dá-se início ao processo de coleta de amostragens (IBGE, 2007).

2.2.1 Tipos de Solos

Argiloso – O solo argiloso tende a ser composto por minerais. Suas cores podem variar de amarelo ou vermelho, algumas vezes tons de cinza e brunadas. Sua baixa saturação faz com que ocorra a retenção de líquidos com facilidade, por isto, é um bom solo para atividades agrícolas – exceto em períodos de secas. Possui uma alta resistência a erosão e seus grãos são de tamanho pequeno (SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2019).

Cambissolos – São solos minerais de cor vermelho escuro ou tons de bruna, que ainda em algumas partes estão em estado original (rocha). São encontrados em relevos com declividades e ondulações e são detectados em superfícies planas, sendo os mais efetivos para atividades agrícolas. Possui curtas profundidades (SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2019).

Espodosolos – Solo possuinte de minerais, suas cores podem variar em tons de cinza, preto, avermelhado ou amarelado. Sua textura é arenosa e possui baixa saturação.

Geralmente encontrados em locais com bastante umidade. Possui baixa atividade agrícola (SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2019).

Luvissolos – Possuem pouca profundidade e não são hidromórficos. Trata-se de um solo permeável com saturação considerada alta. São solos minerais e geralmente sua cor é avermelhada ou amarelada, mas pode ocorrer de haver nas cores acinzentada ou brunada. São encontrados em regiões de clima seco, com potencial efeito para uso agrícola (EMBRAPA, 2018).

Neossolos – Solos que contêm material orgânico e mineral em sua composição, podem ser encontrados em ambientes planos, geralmente apresentando potencial para uso agrícola e, quando achados em relevos, com baixa atividade agrícola. Geralmente contêm partes de sua forma original (rochas) em sua composição, pois são solos novos (EMBRAPA, 2018).

Nitossolos – Solos minerais, com potencial para atividade agrícola, possui uma drenagem boa, geralmente possuem cores avermelhadas, tem uma boa estrutura para períodos de secas e variações climáticas. Sua textura é argilosa (EMBRAPA, 2018).

Organossolos – Solos com a coloração preta, pouco drenados e com bastante matéria orgânica em sua composição, visto que apresentam restos de vegetações, e possuem alta saturação. São geralmente encontrados em locais elevados e apresentam facilidade em oxidar quando ocorre a drenagem (EMBRAPA, 2018).

Planossolos – Encontrados em planícies e com coloração clara, profundidade baixa e média textura, constituído por materiais orgânicos e minerais. Estes solos são considerados hidromórficos em regiões úmidas. Deve-se ter cuidado no momento de efetuar a drenagem. É utilizado na plantação de arroz de forma eficiente (SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2019).

Plintossolos – É um tipo de solo com saturação predominantemente baixa, podendo apresentar níveis altos, encontrados geralmente em ambientes úmidos e quentes. Suas cores são geralmente pálidas, variando em acinzentados e amarelados. Apresentam bastante umidade e são quase sempre mal drenados. É efetivamente agrícola, mas com alguns limites devido ao seu grau de acidez e através da drenagem pode ocorrer a baixa fertilidade (SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2019).

Vertissolos – Encontram-se em áreas planas, depressões ou ondulações suaves. Sua drenagem é limitada, pois esse tipo de solo é pouco permeável. Contém minerais em sua formação e suas cores variam em tons de cinza, vermelhos e amarelados (EMBRAPA, 2018).

2.2.2 Análise de Solos

Cada tipo de solo tem suas próprias características e forma de se comportar, os ensaios de caracterização auxiliam o entendimento que solo tem naquele trecho e suas respectivas propriedades, assim permitindo calcular o que pode ser apoiado nele (PINTO, 2006).

Os limites de Atterberg apresentam o comportamento do solo em relação à plasticidade, ou seja, possibilita a compreensão quanto a mudança de comportamento do solo perante o acréscimo de umidade; já os ensaios de compactação, visam determinar o comportamento geomecânico do solo no estado compactado. Por fim, a resistência mecânica no estado compactado pode ser mensurada através do ensaio de Índice de Suporte Califórnia, complementa através do ensaio de Resistência a Compressão Simples – R.C.S (NOGUEIRA, 2005).

2.2.2.1 Descrição da granulometria

É a composição de grãos presente no solo onde é possível analisar cada partícula presente em porcentagem devido a sua dimensão, permitindo determinar a função do solo.

No ensaio de granulometria são encontrados materiais de diversos tamanhos, designados como os materiais graúdos, pois passam pela peneira com mais facilidade. Os materiais miúdos, entretanto, geralmente necessitam do auxílio de água para a passagem pela peneira, como as argilas e os siltes que precisam de um teste diferente, como a sedimentação, sendo possível assim analisar suas características (SENÇO, 2007).

2.2.2.2 Descrição dos limites de Atterberg

É o método que faz a avaliação das propriedades dos solos dada através de uma série de testes, sendo estes o limite de liquidez, limite de plasticidade e limite de contração do solo (PINTO, 2006).

Para chegar no limite de atterberg os ensaios têm como base verificar o momento em que o solo deixa de se comportar como semi-sólido e começa a agir como plástico (PINTO, 2006).

Dessa forma, pode se dizer que a influência dos solos finos são visíveis através dos ensaios dos limites de atterberg e não somente na granulometria, pois as partículas mais finas acabam sendo afetadas pela umidade do solo, assim precisando de um ensaio mais detalhado. O sueco Atterberg definiu os limites em três estados: o estado líquido que é medido pelo limite de liquidez, o estado plástico que é verificado pelo limite de plasticidade e o estado semi-sólido que é feito através do limite de contração do solo (SENÇO, 2007).

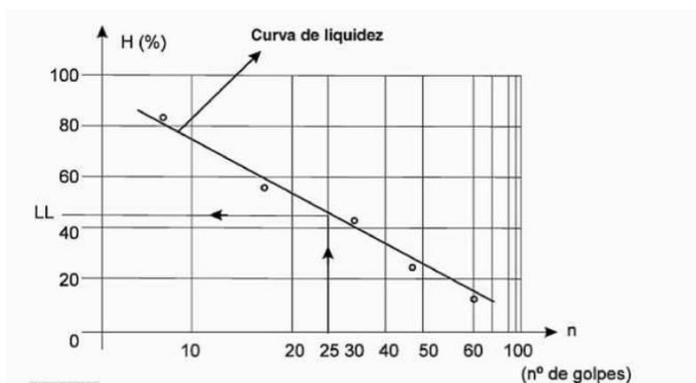
2.2.2.2.1 Descrição do limite de Liquidez

O limite de liquidez determina o teor de água do solo, tendo seu teor de umidade medido quando ocorre a união do solo em um centímetro, como segue a norma do DNER-ME 122 (1994, p. 2):

Teor de umidade do solo com o qual se unem, em um centímetro de comprimento, as bordas inferiores de uma canelura feita em uma massa de solo colocada na concha de um aparelho normatizado (casagrande), sob a ação de 25 golpes da concha sobre a base do aparelho. O limite de liquidez marca a transição do estado plástico ao estado líquido.

O limite de liquidez marca a transição dos dois estados do solo – do plástico para o líquido –, permitindo verificar o comportamento do solo quando atinge o estado líquido. Seus resultados são obtidos da relação de união dos solos à medida que vai aumentando a umidade, sendo expressa em porcentagem (SENÇO, 2007).

Figura 1 - Curva de liquidez



Fonte: Manual de técnicas de pavimentação, Senço, 2007, p. 96.

Determinar a umidade:

$$h = \frac{(Ph - Ps)}{Ps} * 100 \quad (1)$$

Onde:

h – Teor de umidade, em porcentagem

Ph – Massa do solo úmido

Ps – Massa do solo seco em estufa entre 105 °C a 110 °C

Limite de liquidez:

$$LL = h \cdot \left(\frac{N}{25}\right) * 0,156 \quad (2)$$

Ou

$$LL = h \cdot Kn \quad (3)$$

Onde:

N– Número de golpes de um ponto do ensaio

K– Valor em função do número de golpes de um ponto do ensaio

h – Teor de umidade correspondente ao número de golpes

$$Kn = \left(\frac{N}{25}\right) \cdot 0,156 \quad (4)$$

2.2.2.2.2 Descrição do limite de Plasticidade

O limite de plasticidade tem como principal característica determinar o teor de umidade que faz o solo transitar do estado plástico para o semi-sólido. Nogueira (2005, p. 111) salienta que “[...] o limite de plasticidade separa o estado plástico do semi-sólido [...]”, onde ele perde a característica de se moldar e se torna quebradiço e, em casos onde não se consegue determinar o limite de plasticidade, entra na classificação de solo não plástico, assim afirma o autor ora citado, que “[...] sempre que o índice de plasticidade não puder ser calculado por não

conseguir determinar o limite de liquidez ou o limite de plasticidade, o solo deverá ser classificado como não plástico (NP) [...]” (NOGUEIRA, 2005, p. 128).

O limite de plasticidade tem que ser obtido através de 3 (três) determinações e repetindo os ensaios sempre que tiver uma diferença de 3% (três por cento). Essa rigorosidade no ensaio ocorre pela da forma como é feito, tentando deixar a amostra com formato cilíndrico com 10 cm de comprimento e um diâmetro de 3 mm, geralmente atingindo o rompimento nessas dimensões. Porém, em casos onde isso não ocorre, a operação deve ser refeita com menos umidade.

O rompimento ocorre quando causa a umidade que está envolvida com os grãos produz uma película causando uma tensão superficial e, assim que essa tensão é perdida, os grãos começam a entrar em atrito e a se romperem (SENÇO, 2007).

Índice de plasticidade:

$$IP = LL - LP \quad (5)$$

Onde:

LL = Limite de liquidez

LP = Limite de Plasticidade

Determinar a umidade conforme a Equação (1).

2.2.2.2.3 Descrição dos limites de Contração do Solo

O limite de contração do solo é, na verdade, o teor de umidade do solo onde ocorrem as transições entre sólido e semi-sólido, ou o teor máximo de umidade, onde tenha redução do teor de umidade sem haver redução do volume do solo. Sua análise é feita em porcentagem e a determinação é feita através do índice de plasticidade. Nos casos que ocorrerem um índice de plasticidade muito alto, o valor do limite de contração pode ser utilizado para determinar as tendências de fissuras que tendem a ocorrer no solo quando sofrem secagem da umidade, podendo assim, indicar a qualidade do solo e seu valor pode ser utilizado em relação ao ensaio de CBR (determinação do índice de suporte Califórnia) em solos argilosos, dando um valor maior aos dados (NOGUEIRA, 2005).

Os resultados obtidos através do limite de contração permitem uma avaliação que quantifica os efeitos negativos do solo. Esses resultados, associando-se à expansão do solo, podem ser utilizados junto com o ensaio de CBR, principalmente em solos argilosos (SENÇO, 2007).

Limite de contração (LC):

$$LC = \left(\frac{V_s}{P_s} \mu_a - \frac{1}{\delta} \right) * 100 \quad (6)$$

Onde:

μ_a – Massa específica da água em g/cm³

δ – Densidade real do solo

V_s – Volume da pastilha de solo seco em g

P_s – Peso da pastilha de solo seco em g

Razão de contração (RC):

$$RC = \frac{P_s}{V_s} \quad (7)$$

Onde:

V_s – Volume da pastilha de solo seco em g

P_s – Peso da pastilha de solo seco em g

Mudança volumétrica (MV):

$$MV = (h_1 - LC) \cdot RC \quad (8)$$

Onde:

h_1 – teor de água

LC – Limite de contração

RC – Razão de contração

2.2.2.3 Descrição do ensaio de compactação

O ensaio de compactação, também sendo intitulado de ensaio normal de proctor ou até mesmo de AASHTO normal, exemplifica o que seria a compactação do solo. Neste caso, é reduzido os números de vazios do solo, assim como afirma Senço (2007, p. 131), “[...] entende-se por compactação de um solo a operação de reduzir os vazios desse solo comprimindo-o por meios mecânicos[...].”

A relação que pode ocorrer é a densidade e umidade do solo, nesses casos precisa verificar a umidade através da determinação do teor de umidade (SENÇO, 2007).

Os resultados podem ser obtidos através da curva de compactação, sendo os eixos das ordenadas os valores dos pesos específicos secos e as abcissas os teores de umidades correspondentes “[...] Utilizando-se coordenadas cartesianas normais, traçar a curva de compactação, marcando-se em abcissas os teores de umidade, w , e em ordenadas as massas específicas aparentes correspondentes [...]” (NBR 7182, 1988, p. 9).

Determinar a umidade conforme a Equação (1).

Massa específica aparente do solo úmido após cada compactação:

$$\gamma_h = \frac{P'h}{V} \quad (9)$$

Onde:

γ_h – massa específica aparente do solo úmido em g/cm^3

$P'h$ – peso do solo úmido compactado

V – Volume do solo compactado em cm^3

Massa específica aparente do solo seco após cada compactação:

$$\gamma_s = \gamma_h \cdot \left(\frac{100}{100 + h} \right) \quad (10)$$

Onde:

γ_s – massa específica aparente do solo seco em g/cm^3

γ_h – massa específica aparente do solo úmido em g/cm^3

h – Teor de umidade do solo compactado

2.2.2.4 Descrição do ensaio de Resistência a Compressão Simples

O ensaio serve para medir a resistência do solo coesivo, onde este é colocado em um corpo de prova e aplicado um carregamento axial. Nos casos em que não ocorre o rompimento – assim não atingindo a ruptura máxima –, se adota um valor de pressão que corresponde a 20% da força da carga quando há deformação específica DNER-ME 004 (DNER, 1994).

A deformação específica é uma área onde após a aplicação da carga ocorre uma deformação, desde que não tenha alteração do volume DNER-ME 004 (DNER, 1994).

Determinar a umidade conforme a Equação (1).

Cálculo da massa específica:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \quad (11)$$

Onde:

ε – deformação específica

ΔH – decréscimo de altura do corpo-de-prova

H_0 – altura inicial do corpo-de-prova

Cálculo da área corrigida do corpo-de-prova:

$$A = \frac{A_0}{1 - \varepsilon} \quad (12)$$

Onde:

A – Área corrigida em cm²

A₀ – área inicial do corpo-de-prova em cm²

ε – deformação específica

Cálculo da pressão exercida:

$$p = \frac{P}{A} \quad (13)$$

Onde:

p – pressão em KN/m²

P – Carga aplicada ao corpo-de-prova em KN

A – Área corrigida do corpo-de prova em m²

2.2.2.5 Determinação do Índice de Suporte Califórnia

A determinação do índice de suporte Califórnia ou C.B.R., é a relação entre a pressão necessária para penetrar um pistão padronizado em um corpo de prova, fazendo sua relação a brita graúda padrão. Em outros termos, essa pressão necessária penetrará o solo e dará o resultado em porcentagem, dando a entender que o solo representa resistência em relação a resistência da brita. Permite, ainda, verificar o índice de expansibilidade do solo, já que uma etapa do ensaio faz o solo ficar embaixo da água por no mínimo 4 (quatro) dias, assim possibilitando uma análise de expansão da amostra (SENÇO, 2007).

Para o CBR os ensaios são divididos em três partes. Na primeira, compactação do corpo de prova, é realizado a compactação com energia padrão onde o ensaio de proctor consiste em compactar o solo com um número desejado de golpes e camadas. Já no ensaio de expansão, os corpos de provas são imersos em água por no mínimo 4 (quatro) dias, com leituras sendo realizadas a cada 24 (vinte e quatro) horas. E o último ensaio é o de resistência à penetração, que após o período de imersão, o corpo de prova é retirado e drenado de forma natural por 15 (quinze minutos) e em seguida é levado para a penetração com o pistão cilíndrico DNIT-ME 172 (DNIT, 2016).

Determinar a umidade conforme a Equação (1)

Determinar a massa específica úmida:

$$\mu h = \frac{P'h}{V} \quad (14)$$

Onde:

μh – massa específica aparente do solo úmido em g/cm³

$P'h$ – peso do solo úmido compactado

V – Volume do solo compactado em cm³

Massa específica aparente do solo seco compactado:

$$\gamma_s = \gamma h \cdot \left(\frac{100}{100 + h} \right) \quad (15)$$

Onde:

γ_s – massa específica aparente do solo seco em g/cm³

γh – massa específica aparente do solo úmido em g/cm³

h – Teor de umidade do solo compactado

Índice de suporte Califórnia (ISC):

$$ISC = \left(\frac{\textit{pressão calculada ou pressão corrigida}}{\textit{pressão padrão}} \right) * 100 \quad (16)$$

2.3 PAVIMENTO

Atualmente, as rodovias são os principais meios de transporte no Brasil, por isso os pavimentos se tornaram bastante importantes para o cotidiano nas cidades. Os pavimentos se classificam como Rígidos, Semirrígidos e Flexíveis, cada um tem uma função específica, podendo ser utilizado nas cidades ou rodovias. As camadas do pavimento são divididas em subleito, sub-base e base, cada camada citada tem a função de sustentar a rodovia.

O subleito de forma básica é o terreno onde as camadas serão aplicadas, podendo-se dizer que seria a fundação da rodovia. Quando mais bem dimensionado, como por exemplos os materiais aplicados nessa etapa, pode-se reduzir os materiais para as camadas superiores. De acordo com Senço (2007, p. 14), “[...] para a mesma carga aplicada, a espessura do pavimento deverá ser tanto maior quanto pior forem as condições do material do subleito [...].”

A preparação do subleito deve ser realizada após a conclusão dos serviços de terraplanagem. Inicia-se na camada de subleito, que seria a fundação estrutural do pavimento, e tende a ser resistente para aguentar todos os esforços que receberá, ademais, a profundidade geralmente distribui logo no primeiro metro. O material do subleito é de origem natural ou por material compacto, como os aterros (SENÇO, 2007).

A função da regularização ocorre em sua superfície afim de mostrar as características geométricas, como as inclinações transversais, já no pavimento finalizado. Alguns limites são implantados, como nas retas tangenciais: deve-se ter 2% de inclinação em duas rampas para regiões com precipitação pluviométrica de 3 a 4% e uma área inclinada de superelevação nas rampas (SENÇO, 2007). A regularização não é denominada uma camada, seria mais uma atividade que opera a redução ou sobreposição do corte do leito ora implantado, da camada com sua consistência instável (IPR-714, 2006).

O reforço do subleito depende da carga imposta solicitada no pavimento, visto que não é sempre obrigatório, sua espessura nesta camada é constante, localizada logo acima da camada de regularização. Seu trabalho é dispor de resistência necessária para distribuir e resistir aos esforços gerados verticalmente (SENÇO, 2007).

O reforço do subleito, pode se tornar mais econômico dependendo do seu dimensionamento, pois subleitos com baixa resistências precisariam de uma camada de sub-base e base maior, o que levaria a aumentar o custo total final (BALBO, 2007).

A sub-base é a camada que prepara a camada seguinte, a base, que não é indicada que se aplique diretamente no subleito, principalmente quando for muito espessa. Nesses casos indica-se que se divida a camada criando uma sub-base que serve como uma espécie de reforço, uma vez que também abrange a função de distribuir os esforços para as camadas inferiores, e dessa forma, causa um menor custo na obra, além da função de drenagem e estabilidade (BALBO, 2007).

A base tem função parecida com a sub-base, isto é, atua na distribuição das cargas e estabiliza a rodovia. Trata-se de uma camada totalmente voltada para os esforços relacionados aos do tráfego, como diz Senço (2007, p. 20):

base é a camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los. Na verdade, o pavimento pode ser considerado composto de base e revestimento, sendo que a base poderá ou não ser complementada pela sub-base e pelo reforço do subleito.

Salienta-se que a base é a principal camada estrutural do pavimento, sua localização fica logo anterior ao revestimento utilizado e possui como responsabilidade a dissipação de cargas por todas as camadas, desta forma diminuindo a sua intensidade, em virtude da capacidade de suportar todo o estrutural do pavimento (SENÇO, 2007).

E por fim o revestimento, também conhecido como capa de rolamento ou capa, onde o dimensionamento é fixado de acordo com o que foi realizado em outras camadas. Deve apresentar uma boa durabilidade e resistência, pois essa camada receberá diretamente todos os esforços que são provenientes do tráfego, lembrando que no dimensionamento são levados em consideração o tráfego previsto e o número de faixas (SENÇO, 2007).

Esta camada, por ser a última a ser implantada, ficará em contato com todo o tráfego existente no local. É de grande importância que os materiais utilizados sejam de alta qualidade, para fornecer uma maior comodidade à população. O revestimento é a camada mais financeiramente cara, visto que é ligada com o subleito, e se a qualidade do subleito for muito boa, menor será a espessura do material da camada de revestimento utilizada, onde nesta, geralmente, são encontradas as manifestações patológicas (SENÇO, 2007).

Após o término da execução da rodovia entra a parte de serviços através da pintura de ligação, é a aplicação do ligante asfáltico da classe RR-1C (Emulsão Asfáltica Catiônica de Ruptura Rápida) na base ou já no revestimento asfáltico, tendo a função de impulsionar a aderência no revestimento a ser trabalhado DNER-ES 307 (DNIT, 1997).

A Imprimação é a aplicação na base já executada, onde o asfalto diluído do tipo CM-30 (Asfalto Diluído de Petróleo) ou a emulsão asfáltica da classe EAI (emulsão asfáltica para o serviço de imprimação) apresentam a função de analisar a impermeabilidade, coesão superficial e o melhoramento das camadas de aderência no revestimento antes da obra do revestimento asfáltico a ser executada DNIT-ES 144 (DNIT, 2014).

A Fresagem, é o processo onde é somente utilizado quando já existe um pavimento no local, então é preciso fresar a pista para a execução de uma nova obra de pavimento. Este processo é realizado a frio, com máquinas equipadas. DNIT-ES 159 (DNIT, 2011).

2.3.1 Pavimentos Rígidos

Pavimentos Rígidos são pavimentos revestidos de concreto, indicados para locais em que haja tráfego de veículos pesados, caracteriza-se por absorver as pressões externamente e suportar altas tensões, geralmente aplicado em rodovias por causa de seu grande tráfego de veículos de diferentes tipos (IPR-714, 2006).

No pavimento rígido se utiliza uma única camada superior de cimento Portland para o desgaste, esse concreto sobre a base deve ter resistência características a compressão de 30 Mpa, com equipamentos para garantir um bom adensamento para ter uma baixa variação volumétrica e garantir que seu consumo de cimento no concreto seja igual ou superior a 230 kg/m³ (RODRIGUES, 2011).

O dimensionamento de pavimento rígido inicia-se com o Subleito, e dependendo do tipo de solo que há no subleito pode ocorrer recalque afetando as outras camadas, desta forma, demanda uma atenção extra, sempre notando a presença de solos expansivos e de camadas de argila mole muito espessas, especialmente nesses casos é recomendado realizar o estudo geológico (IPR-714, 2005).

O traçado tem como objetivo definir as diretrizes possíveis da rodovia e determinar a viabilidade dela. Qualquer estrada deve levar o parâmetro do número estimado de veículos e a classe, para ser possível iniciar os parâmetros de dimensionamento dos materiais e espessura das camadas, até mesmo o tipo de pavimento, pois com esses dados é possível verificar as características do solo de subleito, e assim podendo começar a verificar os tamanhos das camadas, permitindo apresentar as variáveis do projeto, segundo Rodrigues (2011, p.15):

- Tráfego: esta variável de projeto deve compreender o volume de tráfego, a sua composição, o seu crescimento e o período de vida do projeto;
- Condições de fundação: trata-se de avaliar qual a capacidade de suporte da fundação sobre a qual assenta o pavimento. Depende da natureza e das propriedades dos solos empregues na construção da plataforma e das condições de drenagem;
- Materiais: é necessário analisar os materiais e processos construtivos que podem ser empregues na construção do pavimento, devendo ter-se em conta os materiais disponíveis nas proximidades da obra;
- Condições climáticas: a precipitação e a temperatura têm uma grande influência no comportamento do pavimento e na sua durabilidade.

O Pavimento rígido conta com as camadas do subleito, sub-base, base e espessura do pavimento. Depois de analisar o tipo de solo que se encontra no subleito e da classe da via, pode dar-se início ao desenvolvimento das camadas e dimensionar suas respectivas espessuras (IPR-714, 2005).

A sub-base tem a função de uniformizar e deixar constante toda a extensão da via, isto é, leva em consideração os efeitos do subleito, e caso de solos muito argilosos, a sub-base

ameniza os efeitos e as mudanças bruscas do volume do subleito. Outro fator para a determinação da espessura da sub-base leva-se em conta o número de veículos e a forma que a carga será distribuída. Contando com as cargas de juntas e bordas, em sua relação com o tráfego, a sub-base tende a eliminar o fenômeno conhecido como bombeamento de finos plásticos que ocorre pelo excesso de água e cargas pesadas. Nesse contexto, todos os parâmetros ora citados devem ser analisados e sem esquecer do coeficiente de recalque, sendo recomendável limitar esse coeficiente em cerca de 150 Mpa/m (IPR-714, 2005).

As sub-base são complementos da base, portanto os parâmetros considerados na base podem ser reutilizados. Entretanto, a base não é dividida da mesma maneira, nos casos das bases rígidas estas podem ser executadas de três formas (SENÇO, 2007). Uma delas é concreto e cimento, nesse caso os materiais a serem utilizados seriam areia, agregados, cimento e água, de maneira a realizar-se nas dimensões de acordo com o projeto, levando em consideração os itens que foram utilizados para dimensionar a sub-base.

O dimensionamento é baseado na teoria de Westergaard, podendo até ser armada com barras metálicas dependendo do caso; outro método para base rígida é macadame de cimento, onde a base deve ser executada com agregados de diâmetro entre 50mm e 90mm para os agregados graúdos, já os vazios são preenchidos por materiais mais finos e misturados com cimento, assim gerando um travamento e uma ligação entre as pedras. O último modo é o solo cimento, nesse caso serão utilizados o cimento, solo escolhido e água, realizando a mistura até que ela fique homogênea e compactada. É frequentemente utilizada como base do pavimento (SENÇO, 2007).

O sistema de drenagem no pavimento rígido é feito basicamente pela drenagem superficial, por bueiros e drenagem profunda (IPR-714, 2005).

Para os procedimentos e para o dimensionamento da espessura do pavimento rígido utiliza-se o método Portland Cement Association ou PCA/84. Esse método baseia-se em uma análise estrutural de elementos finitos e fundamenta-se em 4 (quatro) pontos importantes: como os estudos teóricos sobre o funcionamento as placas de concreto do Westergaard; as análises de elementos finitos; o ensaio de laboratório a respeito do comportamento da estrutura final desde a sub-base até às juntas; e para desempenho do concreto, é utilizado o ensaio de AASHO e observação metódico durante o serviço (IPR-714, 2005).

Por consequência da erosão ocorre a perda do solo baixo do pavimento e, conseqüentemente, perda do material que serve de suporte para o pavimento. A erosão pode ser ocasionada pela água, ou nos casos de rodovias, pela passagem de grandes cargas – principalmente as de múltiplos eixos. Os problemas gerados por essa alteração causam

irregularidade na pista, percebidas pelas as variações verticais principalmente nos cantos e bordas. Para evitar esse problema, é considerado o fator de erosão que adota a pressão vertical na interface pela a deformação vertical, tudo isso dividido pelo raio de rigidez. Vale ressaltar que a erosão está ligada ao clima da região da rodovia, assim demonstrando o valor de uma boa drenagem (SENÇO, 2007).

Tabela 1 - Resumos das etapas

Tarefa	Descrição
Definição dos parâmetros para o dimensionamento	Os tipos de acostamento, se haverá necessidade de barras de transferência, resistência a tração aos 28 dias, o coeficiente de recalque, classe da via e fator de segurança.
Cálculo da espessura do pavimento	Após todos os parâmetros necessários verificados é realizado o cálculo como no quadro.
Determinar a tensão equivalente	Através do método PCA/84 leva-se em consideração equivalente das tensões de eixo simples (ES), eixo duplo (ETD) e a de eixo triplos (ETT) podendo variar entre pavimentos com ou sem acostamento.
Fatores de erosão	Entrar com os dados da espessura do sistema e determinar seu fator de acordo com o tipo de eixo.
Fatores de fadiga	Para determinar esse fator é levado em consideração o tipo de eixo.

Fonte: Manual de Técnicas de Pavimentação (SENÇO, 2007). Com modificações.

2.3.2 Pavimentos Flexíveis

Pavimentos Flexíveis são pavimentos revestidos de brita, solo original e outros materiais. A diferença entre o flexível e os outros dois pavimentos é que este não contém concreto em sua composição, além disso, apresenta características de distribuição de carga sobre um sistema de camada sobrepostas (SENÇO, 2007).

O sistema de camadas sobrepostas funciona da forma em que as camadas superiores possuam melhor qualidade, já que as camadas têm de resistir às ações do tráfego de forma direta, transmitir e distribuir as forças e ações para a camadas inferiores. Em resumo pode-se dizer que tais camadas são compostas pela camada de desgaste, camada de regularização, camada de ligação e camada base (RODRIGUES, 2011).

Podemos detalhar essas camadas, como o Rodrigues (2011, p.11) sugere:

- Camada de desgaste: É a camada superior do pavimento, e como tal, está em contacto direto com o tráfego;

- Camada de regularização: É um estrato de espessura variável aplicada numa só camada sobre uma superfície existente para obtenção do perfil necessário à colocação da camada de desgaste de espessura constante;
- Camada de ligação: É a camada do pavimento que se localiza entre a camada de desgaste e a camada base;
- Camada de base: Pode ser considerada o principal elemento estrutural do pavimento. É sobre ela que os esforços verticais vão ser transmitidos e distribuídos às camadas subjacentes.

O dimensionamento do pavimento flexível leva em consideração certo limite para que não suceda o rompimento. Sua condução de pressões para o subleito não ocorre de forma eficiente em comparação ao pavimento rígido, assim tornando o dimensionamento da sub-base e subleito de suma importância. Para esse tipo de dimensionamento pode-se dizer que existem dois métodos: o empírico, que se baseia em fórmulas e coeficientes, e o teórico, que utiliza a teoria de 'Boussinesq como base (SENÇO, 2007).

Quadro 1 - Etapas de construção da via no método empírico

Ensaio de resistência	Pode ser ou não realizado o ensaio de resistência do solo.
Método de IG	O índice de grupo utiliza e classifica os resultados dos limites de liquidez e índice de plasticidade como índice físicos, ou seja, os cálculos são baseados nesses ensaios.
Subleito	O critério para o subleito é basicamente o que é indicado no IG.
Tráfego	Ele é representado pelo volume diário médio de tráfego (TDM) podendo ser tráfego leve (menos de 50 veículos por dia), tráfego médio (entre 50 a 300 veículos por dia) e tráfego pesado (mais de 300 veículos por dia), devendo tomar veículos comerciais, caminhões e ônibus.
Curvas de dimensionamento	São levadas em contas o grau de compactação e a drenagem da via, compactação realizada pelo AASHTO, normalmente não podendo ser menor que 100% na sub-base e base.

Fonte: Manual de Técnicas de Pavimentação (SENÇO, 2007). Com modificações.

2.3.3 Pavimentos Semirrígidos

Pavimentos Semirrígidos são os pavimentos que tem a composição basicamente de cimento e asfalto, pode até ser analisado como uma mistura dos pavimentos flexíveis e rígidos, pois apresenta características comportamentais de deformação, resistência, absorção e distribuição das tensões. Torna-se possível visto que pode ser selecionado um grau de rigidez,

sendo realizado em 3 (três) camadas como a que leva o revestimento betuminoso, camada cimentante e o subleito ou sub-base (SENÇO, 2007).

Como visto anteriormente, a base e a sub-base são responsáveis em suportar as tensões dos veículos, nessas camadas ocorre uma deformação onde se concentra a carga e gera certa intensidade no solo de fundação, como nos casos dos pavimentos rígidos quando a laje tem a rigidez para resistir à carga aplicada servindo de suporte para a fundação, assim minimizando a pressão no solo e atuando em uma área maior (IPR-719, 2006).

Em questão de execução de projeto ele se assemelha ao concreto flexível, suas camadas se baseiam no mesmo sistema composto pela camada de desgaste, camada de regularização, camada de ligação e camada base, diferenciando-se nas espessuras de cada camada por causa uma rigidez maior que o pavimento flexível (IPR-719, 2006).

2.3.4 Manifestações Patológicas Geradas

Segundo a norma do DNIT-ME 005 (DNIT, 2003), segue a especificação das manifestações patológicas sobre o pavimento:

Quadro 2 - Manifestações patológicas geradas

(continua)

Fendas	Estes seriam qualquer descontinuidade sobre o pavimento, a classificação deve ocorrer de acordo com seu tamanho e forma, como as fissuras de largura capilar no revestimento pode ser longitudinal, transversal ou até mesmo obliquamente ao eixo da via, ela é perceptível somente a uma distância inferior a 1,5 m, as fissuras não causam problemas funcionais, mas serve de método para avaliar as condições das superfícies do revestimento.
Trinca	Com uma abertura superior à da fissura, podendo ser classificada como trinca isolada, ou interligada. A trinca transversal é uma trinca isolada, ela apresenta uma direção constante de forma ortogonal ao eixo da via, elas podem ser classificadas como longas ou curtas, dependendo do seu comprimento. Classificada em trinca longitudinal curta inferiores a 100 cm e quando são superiores a 100 cm se denomina-se longitudinal longa, geralmente ocorre paralelamente ao eixo da via. A Trinca isolada pode desenvolver o fenômeno de fadiga, que está ligada aos fenômenos de retração. Já a trinca interligada, pode ser couro de jacaré quando são várias trincas em direções diferentes, podendo até mostrar erosões nas suas bordas, e trincas em blocos que são na mesma direção formando blocos deixando essa forma bem definida.
Afundamentos	Essas deformações ocorrem por causa da pressão vinda da superfície do pavimento, podendo ser classificado como afundamento plástico ou afundamento de consolidação. Afundamento plástico é gerado pelas camadas da superfície do pavimento ou causada pelo subleito, sendo afundamento plástico local para extensões de até 6 metros, quando for superior a 6 metros e estiver localizada ao longo da trilha da roda é chamada de afundamento plástico da trilha de roda.

Afundamento de consolidação	Causado pela estabilização defeituosa nas camadas ou até no subleito, não precisando estar acompanhada de solevamento, podendo ser classificada como afundamento de consolidação local quando inferior à 6 metros ou quando for localizada onde costuma passar as rodas do veículos e sendo superior à 6 metros é classificada como afundamento de consolidação da trilha da roda.
-----------------------------	--

Quadro 2 – Manifestações patológicas geradas

(conclusão)

Ondulações ou corrugações	Pode ocorrer por causa da pouca estabilidade, contaminação, poucos vazios no material asfáltico e umidade no subleito.
Escorregamento	Acontece quando ocorre o movimento no revestimento, com o surgimento de fendas conhecidas como "meia-lua" na camada subjacente do pavimento.
Exsudação	Quando há uma grande quantidade do material ligante, e com pouco conteúdo aerados (vazios) causa uma migração do ligante, ocasionando uma camada de brilho vítreo de material betuminoso na base do pavimento.
Desgaste	É o arrancamento brutal do revestimento superficial, onde ocorre falhas gerando o movimento do ligante, deficiência no teor e presença de umidade, causado por forças do tráfego e aspereza do material.
Remendo	É o preenchimento o defeito na via, seja panela ou buraco, com quantas camadas forem necessárias de pavimento. O Remendo profundo tem forma retangular, onde pode afetar as camadas inferiores, precisando de substituição. O Remendo superficial é aplicado direto superfície da camada asfáltica, para corrigir uma determinada área.
Panela ou buraco	São os buracos ou cavidades no revestimento do pavimento, podendo ser causado por falha na camada superposta, ocorrendo o deslocamento por falta de aderência dos materiais utilizados, também a umidade e trincas por excesso de tráfego em uma margem de tempo.

Fonte: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos terminologia. DNIT-ME 005 (DNIT, 2003). Com modificações.

2.3.5 Estudo de Tráfego

O principal foco é o planejamento dos projetos de vias para o transporte seguro, econômico e de forma eficaz de pessoas (IPR-723, 2006).

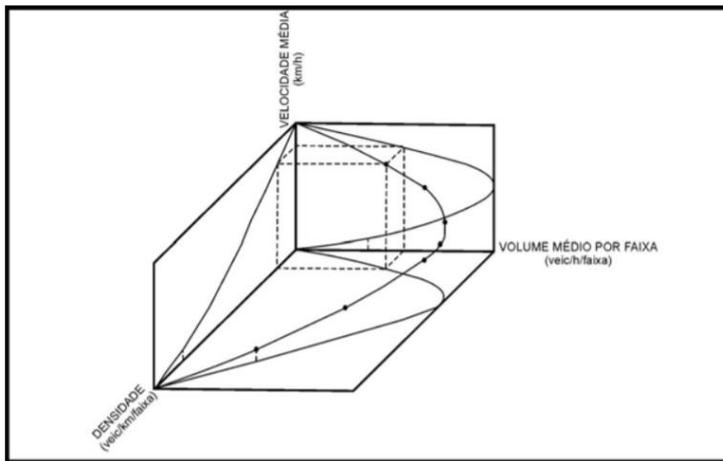
Emprega-se geralmente o procedimento de pesquisa com o intuito conhecer a origem e o destino do usuário, faz o uso de entrevistas ou por pesquisa direta, estudando as lotações dos veículos, velocidades e contagens de volume. Existem três características de suma importância para o entendimento do estudo de tráfego, nelas constam o volume, a velocidade e a densidade dos veículos que transitam a via, segundo o Manual de Estudo de Tráfego do IPR-723 (2006, p.135).

Informações mínimas deverão ser levantadas, integralmente, as seguintes informações, consideradas como mínimas indispensáveis para a realização do estudo:

- localização do posto;
- época da pesquisa;

- intervalo horário da pesquisa;
- sentido do tráfego;
- tipo de veículo entrevistado (para áreas rurais adotar a classificação do DNIT);
- motivo da viagem;
- peso da carga do caminhão;
- tara do veículo (peso do caminhão vazio);
- produto transportado;
- valor da carga;
- origem e destino da viagem.

Figura 2 – Relação entre velocidade, volume e densidade



Fonte: Manual de Estudos de Tráfego IPR-723 (DNIT, 2006, p. 85).

2.3.5.1 Volume

O volume é calculado a partir de um período, geralmente 24 (vinte e quatro) horas em que é transitado veículos em uma via. Nesta análise, é possível identificar diversos fatores como a necessidade de postos de pedágio, novas vias ou o melhoramento da via já existente, bem como a taxa de acidentes e as prioridades de investimentos a curto e longo prazo. Alguns horários de picos podem ter alta influência nos cálculos, como períodos com feriados e finais de semana (IPR-723, 2006).

São empregados alguns tipos de contagens:

- a) **Contagem Global:** São para o uso de volumes durante o dia, para construir os mapas de quantidade e demarcar a previsão de tráfego. Neste caso, é contado a quantidade de veículos que transitam em um trecho, agrupando de acordo com a sua categoria. Não tendo importância o sentido em que trafega (IPR-723,2006).
- b) **Contagem Direcional:** São aqueles que definem a interrupção de sinais, análise de acidentes, controle de trânsito e capacidade. Estes são delimitados por sentidos das vias (IPR-723, 2006).

- c) **Contagem Classificatória:** Usado para o dimensionamento de estruturas, projetos geométricos, rodovias, interseções, classificando cada tipo diferente de veículo (IPR-723, 2006).

Os métodos de contagens podem ser os manuais com a ajuda de pesquisadores em campo, utilizando-se de contadores manuais eletrônicos, que quando faltam, podem ser substituídos por planilhas. A contagem automática é realizada com equipamentos como radar, tubos pneumáticos e entre outros, e a contagem por videoteipe realiza-se com câmeras de monitoramento (IPR-723, 2006).

Segundo o Manual de Projeto de Interseções, IPR-718, 2005 os veículos são classificados em 5 grupos:

- VP – Classificados como veículos leves, sendo os carros automóveis, vans, pick-ups, minivans e similares.
- CO – Classificados como veículos para uso comercial, tendo sua estrutura rígida e não sendo articulada. São os ônibus convencionais e caminhões. Geralmente com 4 a 6 rodas e dois eixos.
- O – Classificados como veículos para uso comercial, de grandes dimensões e rígidos. São os ônibus de turismo e de percurso longo, caminhões de três eixos maiores que o CO. Sua largura geralmente tem o máximo limite que se pode ter para veículos em forma rígidos.
- SR – Classificados como veículos articulados para uso comercial, composto por cavalo mecânica ou tratora simples, e o semi-reboque. Sua dimensão é na maioria das vezes a máxima permitida para veículos desse porte.
- RE – Classificados como os veículos de uso comercial com a parte do reboque inclusa. Geralmente encontrada com o nome de bitrem e composta por um reboque, um remireboque e uma tratora simples.

Tabela 2 - Principais dimensões básicas dos veículos de projeto

Designação do tipo de veículo / Características	Veículos leves (VP)	Caminhões e ônibus convencionais (CO)	Caminhões e ônibus longos (O)	Semi-reboques (SR)	Reboques (RE)
Largura total	2,1	2,6	2,6	2,6	2,6
Comprimento total	5,8	9,1	12,2	16,8	19,8
Raio min. da roda eterna	7,3	12,8	12,8	13,7	13,7
Raio min. da roda interna traseira	4,7	8,7	7,1	6,0	6,9

Fonte: Manual de Estudos de Tráfego do IPR-723 (DNIT, 2006, p. 47).

Segundo o Manual de Estudo de Tráfego (DNIT, 2006), os VMD (volume médio diário) são descritos das formas a seguir:

- Volume Médio Diário Anual (VMDa): quantidade de veículos transitando em um ano, dividido pelo número de 365.
- Volume Médio Diário Mensal (VMDm): quantidade de veículos transitando no período de um mês, dividido pela quantidade de dias do mês. Acompanhado pelo nome designando o mês que foi estudado.
- Volume Médio Diário Semanal (VMDs): quantidade de veículos que transitaram no período de 7 dias, sendo uma semana. Sempre acompanhar o mês de estudo em sua designação. Pode ser usado como uma amostra de VMDm.
- Volume Médio Diário em um Dia de Semana (VMDd): quantidade de veículos total que transitaram na via durante um dia. Deve ser acompanhado sempre de sua data, como o dia e o mês em que corresponde.

Volume médio de Tráfego (V_m):

$$V_m = \frac{V_1[2 + (P - 1)t/100]}{2} \quad (17)$$

Onde:

V_m – Volume médio

V_1 – Volume

t – Tempo

Volume Total de Tráfego (num sentido) (V_t):

$$V_t = \frac{365V_1[(1 + t/100)^\rho - 1]}{t/100} \quad (18)$$

Onde:

V_t – Volume total de tráfego

ρ – Período

P – Fator pista

t – Tempo

Com o V_t , se calcula o N , é o número equivalente de operações do eixo simples padrão durante o período de projeto e o parâmetro de tráfego usado no dimensionamento.

$$N = V_t * (F * E) * (F * C) * (F * E) * (F * C) = F * V \quad (19)$$

$$N = vT * (F * V) \quad (20)$$

Onde:

$F.E$ – Fator de eixos

$F.C$ – Fator de carga

$F.V$ – Fator de Veículo

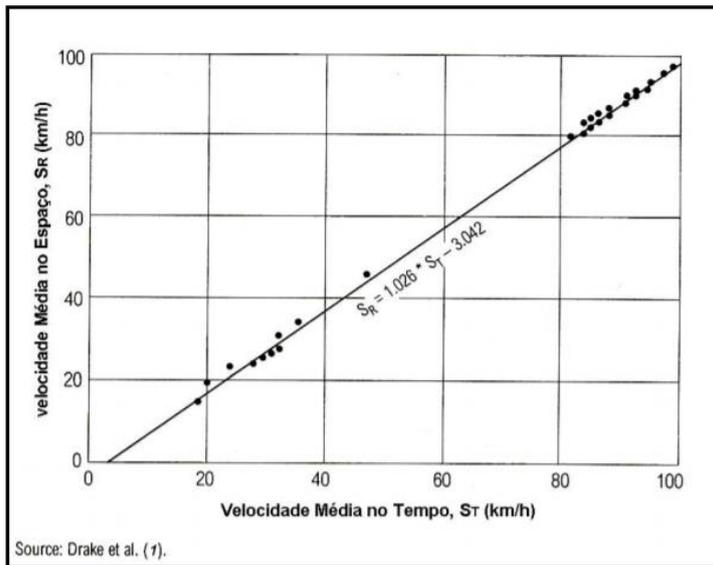
V_t – Volume total de tráfego

2.3.5.2 Velocidade

A velocidade é a análise do tempo em que o veículo percorre a via, com o espaço em que ele necessita para o rolamento. Este pode ser um pouco mais complexo para o seu entendimento, pois pode variar suas formas de acordo com o tempo, que é analisado e a sua base espacial (IPR-723, 2006).

A partir do Manual de Estudo de Tráfego do IPR-7232 (2006), as velocidades podem ser designadas como:

Figura 3 – Relação entre as velocidades médias no tempo e no espaço



Fonte: Manual de Estudos de Tráfego do IPR-723 (DNIT, 2006, p. 81).

- a. Pontual sendo a velocidade de um veículo em trânsito quando passa por um local exato.
- b. Velocidade média no tempo é a aritmética pontual do total de veículos que passam por um determinado local entre intervalos de tempos.
- c. Velocidade instantânea é a determinada por um momento em uma via com sua dimensão tendendo a zero.
- d. Velocidade média de viagem é aquela que depende do tempo gasto e a largura da via, estando já incluso o tempo em que o veículo possa estar parado.

$$V_{mv} = \frac{L}{\left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n t_i} \quad (21)$$

Onde:

V_{mv} – Velocidade média de viagem (km/h)

L – Comprimento do trecho (km)

T_i – Tempo de viagem do veículo i (h)

n – Número de veículos observados

- a. Velocidade de fluxo livre, é a que não importa a sua velocidade e onde apresenta baixo fluxo de veículos em trânsito.

- b. Velocidade porcentual, a que numa via, trafegam abaixo do nível indicado. Este tipo de velocidade ajuda a determinar a velocidade máxima e mínima permitida.
- c. Velocidade de operação, é aquela em que é permitido o trânsito na máxima velocidade, desde que as condições do tempo estejam favoráveis, não podendo exceder o permitido.
- d. Velocidade diretriz, é aquela para uso técnico em projetos, sendo derivados pelos valores mínimos impostos. Geralmente esta é uma velocidade em que pode percorrer com a máxima segurança.

2.3.5.3 Densidade

É a quantidade de veículos por simetria de extensão da via. A densidade qualifica as aproximações entre os veículos, analisando suas manobras durante o tráfego (IPR-723, 2006).

$$\delta = \frac{F_{mt}}{V_{mt}} \quad (22)$$

Onde:

δ – Densidade real do solo

F_{mt} – Fluxo médio no trecho em (veic/h)

V_{mt} – Velocidade média no trecho (km/h)

3 RECICLAGEM DO P.E.T

Diversas vantagens oriundas da reciclagem de P.E.T. podem ser observadas, como a preservação do meio ambiente, geração de empregos e os benefícios sociais, econômicos e ambientais. A reciclagem mobilizou todo um setor industrial, gerando assim, uma demanda e valorização alta pela sucata (ABIPET, 2012).

3.1 BENEFÍCIOS SOCIAIS

O preço da sucata é viável para as empresas se manterem, ademais diversos catadores conseguem levar suas vidas apenas com este trabalho, pois no Brasil estes insumos são valorizados (ABIPET, 2012).

3.2 BENEFÍCIOS ECONÔMICOS

As indústrias Brasileiras de P.E.T.'s trabalham de forma sustentável, funcional e viável, a cada ano crescem a aproximadamente 11% (onze por cento). Uma parte da renda de faturamento advém apenas da reciclagem, gerando assim empregos, rendas e impostos (ABIPET, 2012).

3.3 BENEFÍCIOS AMBIENTAIS

Com a reciclagem, o meio ambiente é menos agredido, todo o P.E.T. tem o seu devido fim, economizando energia, água e os recursos naturais. Os materiais inviolados podem ser substituídos pelos reciclados e utilizados na construção civil, fabricação de automóveis, motocicletas, caminhões e produção de celulares, gerando economia (ABIPET, 2012).

3.4 UTILIZAÇÕES DO P.E.T.

Os P.E.T.'s reciclados podem ser encontrados nos celulares, cordas, fitas adesivas, chuteiras, bolas, bancos em geral, placas de direção e propagandas, acessórios de automóveis, mármore, tubulações, piscinas, telhas, materiais de escritório, embalagens de produtos de limpeza e tecidos.

3.4.1 Flake (flocos) e pó de P.E.T.

Para chegar no material de pó de P.E.T. é preciso gerar o flake, então é dado-se origem num processo de esmagamento das garradas P.E.T., a primeira etapa é remover rótulos e a parte superior onde fica a tampa, logo após são lavadas e colocadas em um moinho onde ocorre o esmagamento, resultando no material de flake. A próxima parte consiste em chegar no material de pó de P.E.T., necessitando de um tratamento térmico, a fim de diminuir seu volume aumentando a sua densidade, e assim o material encontra-se adequado para o próximo passo. Nesta parte ocorre a retomoldagem, em que o material é deixado em formato ideal para a moldagem do estágio final. Logo após o processo anterior, o material é novamente moído e deixado no formato de pastilhas pequenas. O último passo é a micronização, em que o material é micronizado com a finalidade de reduzir o material até virar um pó (MELO, 2004).

4 METODOLOGIA

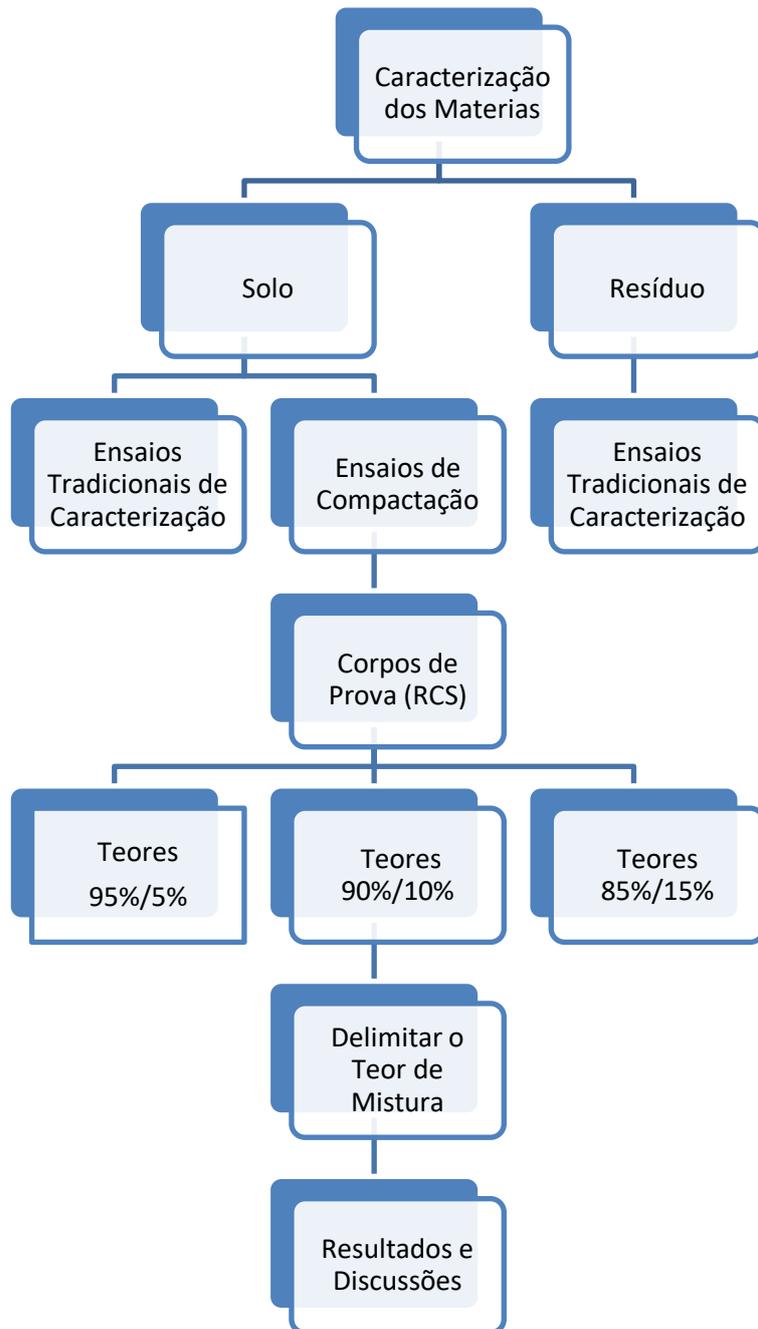
A partir dos problemas gerados pelas manifestações patológicas, criou-se uma investigação para amenizar possíveis interferências advindas de adensamento das diferentes energias de compactação utilizadas, quando comparados com a forma tradicional executada. Problemas de compactação em obras desta natureza acabam gerando comportamentos variados, como trincas de deflexão ao pavimento, fissuras, desagregação, entre outros, que resultam em consideráveis interferências junto aos transeuntes.

Com o estudo dos tipos de pavimentos e como eles se comportam, são elaborados cenários tendenciais abordando os tipos de manifestações patológicas. As soluções testadas têm como intuito apresentar algo novo e economicamente viável.

Neste sentido, são realizados ensaios geotécnicos tradicionais de caracterização, como os de limites de Atterberg, granulometria, densidade real das partículas, ensaios complementares de compactação e R.C.S.

Através do fluxograma atuado pela Figura 4, segue a metodologia proposta para o entendimento deste trabalho.

Figura 4 – Fluxograma



Fonte: Autores, 2019.

- a. Caracterização dos materiais: caracterizar o tipo de material que será usado e entender seu comportamento geomecânico;
- b. Solo: identificar as características geomecânicas do solo proveniente de botas fora e seu comportamento frente as diferentes solicitações;

- c. Resíduo: utilizar resíduos poliméricos em diferentes teores de mistura solo/resíduo de forma verificar possíveis alterações significativas nos solos considerados inservíveis;
- d. Ensaio tradicionais de caracterização: ensaios para caracterizar o solo e/ou resíduo, como exemplos os ensaios de limite de liquidez e plasticidade, entre outros.
- e. Ensaio de compactação: determinar a resistência mecânica da mistura solo/resíduo no estado compactado;
- f. Corpo de provas: determinação de diferentes corpos de prova, a partir da execução do ensaio de R.C.S., para fins de determinação de resistência mecânica.
- g. Delimitar os teores da mistura: verificar os resultados das misturas e separar as que tiverem melhor desempenho
- h. Resultados e discussões: comparar os resultados obtidos e analisar.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Através da análise da classificação do solo se torna possível compreender o tipo de solo em questão e como é executado o processo da pavimentação e do saneamento e, também, encontrar as causas de suas manifestações patológicas e outros problemas que ocorrem ao decorrer do tempo.

Com a ajuda de materiais ora citados na fundamentação teórica, foi possível realizar ensaios com o pó e o flake – que são resíduos do P.E.T. – junto ao solo bota-fora, assim misturando-os e testando sua resistência para ver se há algum ganho significativo a fim de minimizar o problema gerado.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE TUBARÃO

Situado ao Sul de Santa Catarina, o Município de Tubarão está inserido geograficamente no entorno do vale do Rio Tubarão e planícies do complexo Lagunar. Os solos residuais de Cambissolos e Podzólicos Vermelho-amarelo oriundos das elevações graníticas são delimitadores de uma bacia sedimentar de solos moles do tipo Orgânico e Glei, desenvolvidos sobre rocha muito fraturada e apresentam como delimitações geopolíticas a área equivalente à 301,484 km².

Segundo dados do IBGE (2019), o município encontra-se com 105.686 habitantes, com a maioria da população predominantemente residente nas áreas urbanas.

Relativo ao clima, o município é classificado como subtropical (Cfa-mesotérmico úmido com verões quentes), com elevada precipitação média anual na ordem de 1.340 mm, proporcionando frequentes elevações do nível do Rio Tubarão (IBGE, 2008).

5.1.1 Localização das amostras

Os solos das amostras chamados de “bota fora” foram coletados em 2 (dois) bairros distintos: o primeiro foi no bairro Humaitá, na rua Sérgio Fernandes Pereira, região que apresenta solo com textura arenosa e com resíduos naturais e artificiais, como restos de tubulação. Já o segundo foi localizado no bairro Vila Moema, na Avenida Portugal, apresentando solo com textura argilosa, com efluentes naturais e artificiais. Ambos locais onde foram encontradas as amostras de estudo são pertencentes a gestão do município.

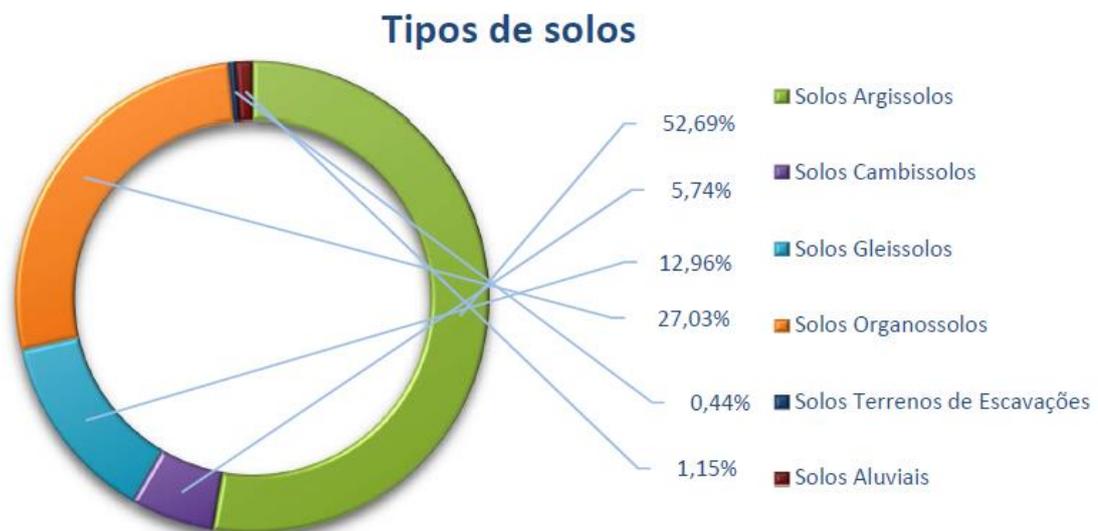
5.1.2 Características gerais da região

Os relevos e solos de Tubarão consistem em áreas de aproximadamente 302,660 ha, onde 6% destes é composta por solos hidromórficos, conhecidos como Gleissolos; 26,6% compostos por Cambissolos e argilosos, que são solos ondulados; 59,1% são combissolos e argilosos que apresentam declives; 7,1% são neossolos com grandes declividades e rasos; e 1,2% são corpos de água, áreas de urbanização e outros exemplos de solos (EMBRAPA, 1998).

5.1.3 Carta dos solos de Tubarão

A região de tubarão consiste nos tipos de solos como o Argissolos, Cambisosolos, Gleissolos, Organossolos.

Figura 5 - Solos de Tubarão



Fonte: Gatilhos geotécnicos para escolhas do tipo de fundação (BORGES, 2020 p.49).

Como demonstra a Figura 5, as maiores formações de solo em tubarão são o argissolos e organossolos, esse último encaixa-se no tipo de solo que foi caracterizado pelos ensaios.

5.1.4 Características dos pontos de estudo

As amostras são oriundas de restos de solos “bota fora”, estes resultantes da reabertura da pavimentação para a implantação do serviço de esgoto sanitário da região.

Foram retiradas amostras de dois pontos distintos, e apesar ambos serem solos de bota fora, apresentam características distintas, pois não foi possível distinguir o local exato da remoção, foi apenas retirado do local de depósito dos pátios municipais. Ainda que apresentem diferenças, os solos de origem orgânica são um ponto em comum. Esse tipo de solo é bem característico da região de Tubarão.

Para fundamentar os estudos e suas aplicações, foi calculado o número de amostras necessárias utilizando-se de métodos estatísticos com erro não sendo superior a 15%, assim podendo criar um modelo aceitável.

$$n = \frac{t^2 \alpha/2, N - 1 \left(\frac{S^2}{E^2}\right)}{1 + \left(\frac{1}{N}\right)(t^2 \alpha/2, N - 1)\left(\frac{S^2}{E^2}\right)} \quad (23)$$

Onde:

n = Números mínimo de pontos necessários (tamanho mínimo da amostra).

t = Valor da distribuição t, com $(1 - \alpha/2)$ nível de confiança e $N - 1$ graus de liberdade.

α = Nível de significância.

N = Número total de links (população) da qual uma amostra deve ser selecionada.

S = Estimativa do desvio padrão espacial dos volumes dos links.

E = Margem de erro tolerável.

Sendo que os dados utilizados para o cálculo estão no Quadro 4:

Quadro 3 - Dados para o cálculo do número n

Comprimento do trecho	Largura média	A	N	S	E	Erro aceito	Número de pontos
100	7	0,1	700	210	630	15,00%	13

Fonte: Autores, 2020

Chegando assim à conclusão de que são necessários 13 pontos de estudo.

5.1.5 Descrição do politereftalato de etileno

Tendo o petróleo como principal matéria-prima, o politereftalato de etileno – P.E.T, é um material utilizado para armazenar substâncias carbonadas e entre outras tantas. É um material fácil de ser encontrado e com um alto índice de não reaproveitamento após o uso do conteúdo interno, que ocasiona o descarte em locais inapropriados e, conseqüentemente, gera grave impacto ambiental, principalmente nas áreas marinhas e urbanas, considerando que levam anos até sua total decomposição (GALLI *et al.*, 2012).

Outra grave consequência da não reutilização do P.E.T. é o acúmulo de resíduos nos aterros sanitários que aumenta progressivamente pelo consumo exacerbado e aumento da população. Assim, a solução mais viável a ser adotada é a reciclagem, viabilizando-a em outras áreas como a construção civil (GALLI *et al.*, 2012).

A reciclagem do material iniciou-se nos anos 80, nos países de EUA e Canadá, como importante elemento no enchimento de almofadas, logo depois passou a ser utilizado em tecidos, embalagens não alimentícias e lâminas. A chegada da reciclagem no Brasil foi apenas em 1994 com baixa taxa de utilização; alguns anos depois, em 2008, o país apresentou 54,8% de utilização dele (ABIPET, 2008).

Existem três tipos de reciclagens de P.E.T.s que podem ser feitas: a reciclagem química, onde os elementos do P.E.T. são separados; a reciclagem energética, em que o calor pode gerar energia elétrica; e a reciclagem mecânica, no qual ocorre o recolhimento do material já utilizado, e este é transformado em embalagens para produtos não alimentícios e outros fins (ABIPET, 2008).

O plástico age como impermeabilizante nas camadas onde a matéria orgânica se encontra, desta forma dificultando o processo de decomposição. Visto isso, observa-se que a redução de P.E.T. para os aterros sanitários é algo extremamente positivo, pois assim a matéria orgânica pode se decompor com mais facilidade (ALVES *et al.*, 2012).

O P.E.T. como material reciclado vem sendo utilizado em diversas áreas das indústrias, como nas indústrias têxteis, materiais escolares, materiais para escritórios, na indústria automotiva e na construção civil, onde é utilizado na parte de criação lâmpadas, algumas tubulações de PVC e em sistemas de aquecimento. Algumas pesquisas destacam a boa resistência do material e que pode ser misturado com outros materiais para ser utilizado nas obras, mas não é utilizado como insumo.

Visto que é um material de fácil acesso, a utilização do P.E.T. possibilita a redução do custo na construção civil e, em critérios de sustentabilidade, se aplicado desta forma, torna-se

possível dar o destino adequado ao material – aspecto importante considerando o período de decomposição; assim, libera os aterros sanitários através da reutilização e por fim gera economia.

5.1.5.1 Características do material

O politereftalato de etileno ou polietileno tereftalato, possui alta resistência tanto mecânica quanto química, por isso se tornou um material extremamente usado na indústria de bebidas (GALLI *et al.*, 2012).

Além de possuir diferentes características dependendo da forma do seu preparo, foi observado que seu ponto de ebulição chega a aproximadamente 260° C com uma densidade aproximada de 1,39 Kg/dm³, e conforme o modo de resfriamento apresenta diferentes características: quando ocorre o resfriamento lento, sua estrutura se organiza em uma forma de rede cristalina bem definida, deixando o material mais frágil; porém, se o resfriamento ocorre de maneira rápida o resultado é totalmente o oposto, formando uma estrutura amorfa que o torna mais resistente (CAETANO *et al.*, 2007).

Em termos de nanotecnologia, pode se observar que o P.E.T. quando no estado de combustão gera hidrocarbonetos leves. O material liberado pela queima do objeto em questão, em uma temperatura de 600° C, cria um emaranhado de nanomateriais com as características de nanotubos, o que aumenta ainda mais suas possibilidades de aplicação (ALVES *et al.*, 2012).

Como pode ser observado, o P.E.T. possui características positivas para se tornar viável sua aplicação como material na construção civil.

O processo de moagem do P.E.T. em escala não industrial consiste em remover os rótulos e tampas, lavar as garrafas com sabão e deixar secar naturalmente ou com ajuda de alguma estufa. Após o processo, as garrafas devem ser cortadas em pequenos pedaços de aproximadamente 10x5 mm – pois a máquina moedora não permite grandes pedaços de P.E.T. (SILVA *et al.*, 2019).

No método industrial de moagem do P.E.T., as cargas adentram no local onde serão desmanchados e em seguida são colocados em uma esteira de peneira rotativa em que todo o processo é monitorado, pois não pode haver a presença de outros materiais, como metais e P.V.C (detectados pela máquina). O material já moído logo é realocado e o líquido sujo presente nos materiais é separado e descartado. Imediatamente após o processo anterior, o material coletado é colocado em tanques para que ocorra a separação caso ainda tenha algum insumo (como tampas e rótulos). Nesse momento, para melhor qualidade, podem ser acrescentados

produtos químicos caso seja necessário. Para obter a granulometria correta, é preciso que ocorra a recolocação do P.E.T. em um outro tanque. Partindo desse processo, o material é movido até um local de lavagem e secagem. Por fim, o material é levado a um equipamento que detecta metais, onde é guardado e está pronto para ser a matéria-prima de muitas indústrias (ABIPET, 2012).

5.1.5.2 Utilização na construção civil

Foi pesquisado a viabilidade da utilização de P.E.T. para a produção de fôrmas de concreto e, por ser um material mais fácil de moldar, foi observado um melhor acabamento na peça de concreto, o que agrega ganho de resistência. As fôrmas são submetidas às altas temperaturas e, quando resfriadas lentamente, acabam se tornando quebradiças e são reutilizadas apenas algumas vezes, mas, se esfriar rapidamente, torna-se um material mais resistente e assim torna-se possível seu reaproveitamento em diversas vezes (CAETANO *et al.*, 2007).

Foi estudado a possibilidade de usar o P.E.T. como insumo para a vedação, nesse caso foram utilizados argamassa, arame e entulho triturado para ser colocado dentro do P.E.T., realizou-se em pequena escala, não podendo ser analisado o seu isolamento térmico e acústico, e como o projeto visa a parte de vedação não foi verificada sua resistência (GALLI *et al.*, 2012).

Ocorre a mistura de resíduos de P.E.T. para a fabricação de tijolos maciços solocimento e, quando realizados o ensaio de compressão, foi observado um aumento de 163,15% no ganho de resistência – comparado com o traço padrão sem a incorporação do P.E.T., e a absorção de água foi respeitada, mantendo-se de acordo com a norma (SENA *et al.*, 2017).

Com a análise da substituição de tijolos convencionais por garrafas P.E.T.s com argamassa no seu interior pode-se observar que 70% do investimento na obra poderia ser reduzido, desta forma, diminuiria a extração de matéria-prima natural para a criação de blocos e tijolos. Pessoas de baixa renda que possuem pouca ou nenhuma condição de arcar com os custos da construção convencional poderiam usufruir deste modo e, ainda, criaria mais uma qualificação para a mão-de-obra da execução (GALLI *et al.*, 2012).

As fibras de P.E.T. foram estudadas para reforçar o concreto, mas não obtiveram resultados satisfatórios, ou seja, não elevou a tração por compressão diametral e resistência à compressão simples, sendo indicado a sua utilização em peças de concreto que não precisem de elevadas resistências, como meio-fio, pisos, blocos (CORÓ, 2002).

5.1.6 Propriedades do solo oriundos de escavação de valas

O solo de bota fora apresentou características de solo argiloso, isto é, com alta plasticidade. As argilas são a última etapa do processo de decomposição da rocha, devendo-se levar em conta vários fatores para isso, tais como o clima, rocha de origem, fisiologia e do tempo (CAPUTO, 1988).

Dependendo de sua formação, a argila pode apresentar umidade de 400% em relação ao solo arenoso – absorção extremamente alta, principalmente para um solo que a capacidade de resistência depende da sua porcentagem de água (CAPUTO, 1988). O índice de plasticidade considera seu máximo os solos argilosos e seu mínimo (ou nulo) para solos arenosos.

Quando ocorre o processo de deformação, os solos argilosos não se comportam de forma imediata, como nos casos da areia, mas sim em função do tempo. Assim, não apresenta cisalhamento simples; sua deformação até a estabilidade pode levar anos e ocorrer de forma lenta, dependendo da impermeabilização e seu grau de compactação. Deve-se considerar a força que será aplicada a esse solo (CAPUTO, 1988).

Pode-se notar que a alta plasticidade do solo argiloso é o que causa sua baixa resistência, e quando for possível diminuir as absorções de água, poderá aumentar sua resistência e assim reduzir a deformação do solo com o tempo, evitando diversos problemas patológicos.

Considerando que o P.E.T é um material que agrega características de ganho de resistência e reduz a plasticidade do solo, surgiu o propósito de aplicá-lo ao solo para amenizar os impactos de recalques e evitar as manifestações patológicas e, conseqüentemente, gerar uma forma sustentável de reutilização do solo bota-fora.

5.2 ENSAIOS

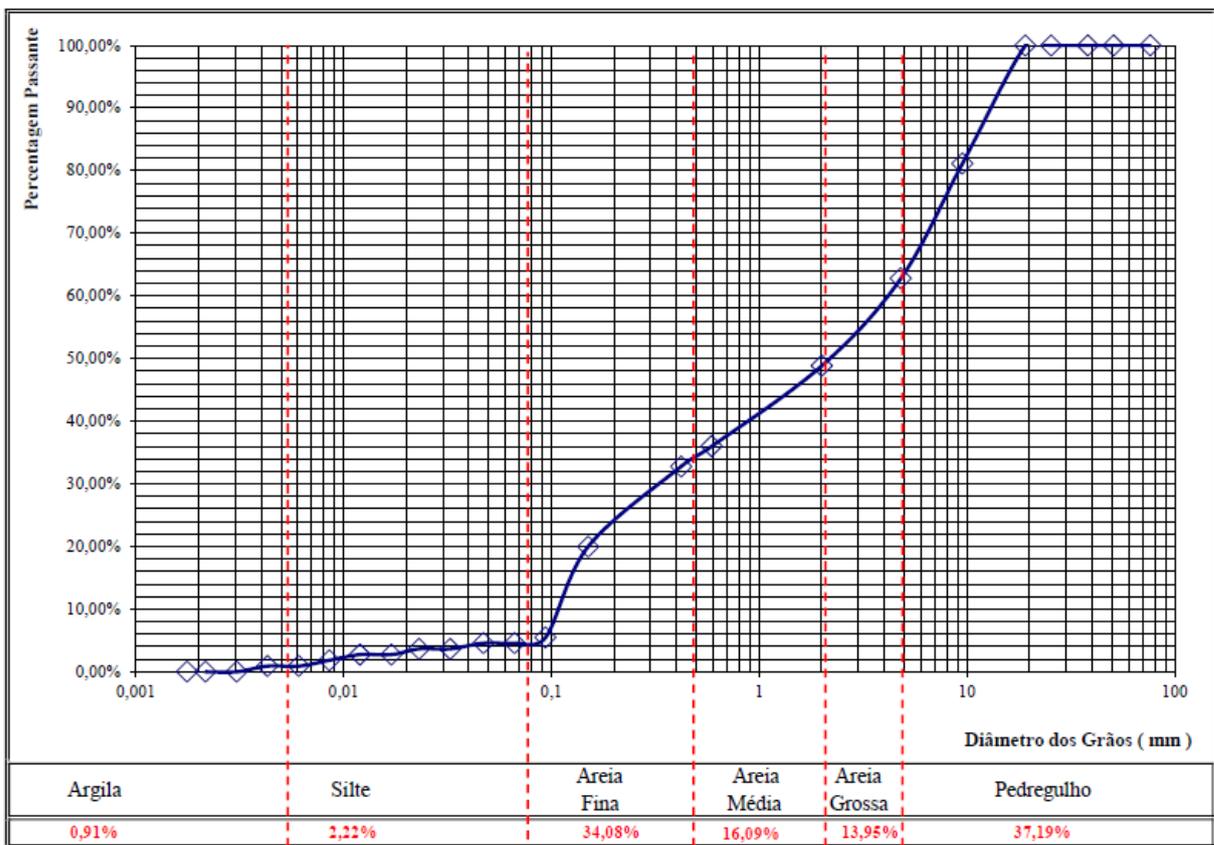
Com o intuito de conhecer as propriedades dos materiais das amostras, foi realizado os ensaios de caracterização do solo dos dois pontos de coleta. A primeira determinada como amostra 1 foi retirada no bairro Humaitá, na rua Sérgio Fernandes Pereira; e a amostra 2 a que foi retirada no bairro Vila Moema, na Avenida Portugal.

5.2.1 Granulometria

O primeiro ensaio realizado foi a granulometria, que serve para entender exatamente qual tipo de solo é trabalhado. Neste, o solo é passado nas peneiras grossas e depois realizado a sedimentação, que consiste na retirada dos dados em certos períodos e, por fim, é passado na última peneira.

Assim na amostra 1 foi obtido os resultados apresentados na Figura 6:

Figura 6 - Resultados da granulometria da amostra 1

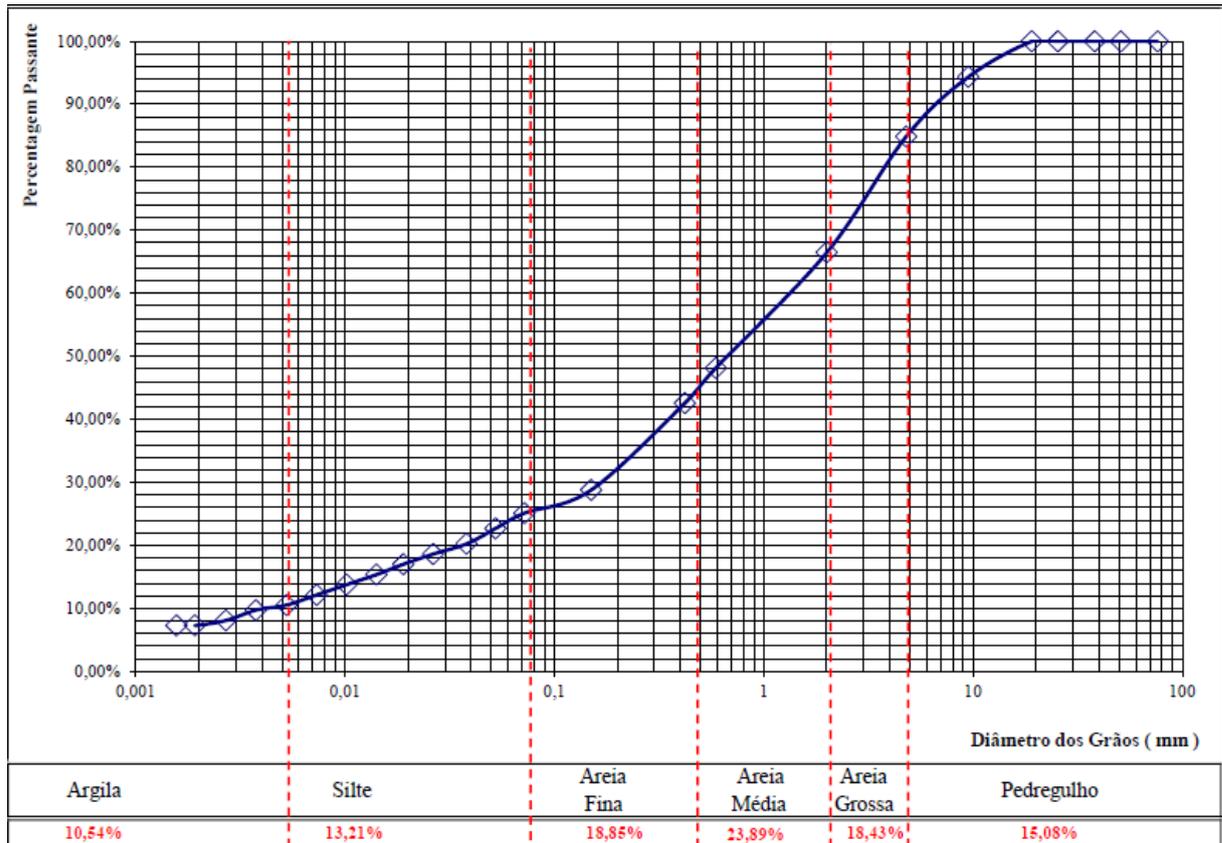


Fonte: Autores, 2020

Após da análise do resultado da amostra 1 pode ser perceber que é um solo formado por uma grande quantidade de areia e pedregulho.

Já na amostra 2 foi obtido os resultados apresentados na Figura 7.

Figura 7 - Resultados da granulometria da amostra 2



Fonte: Autores, 2020.

Após a análise da amostra 2 pode-se notar que é um solo mais argiloso, composto pela maior parte de argila e areia média.

5.2.2 Limites de atterberg

Na realização dos ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade, notou-se que na amostra 1 não era possível realizar os determinados ensaios devido à grande quantidade de partículas arenosas, sendo assim foi considerado um solo não plástico. A amostra 2 apresentou os resultados do Quadro 5 e 6:

Quadro 4 - Resultados do limite de liquidez

Capsula	S44	S33	S89	S80	S22	S77	S47	S31
Nº golpes	47	41	36	32	26	20	18	13
Teor de umidade (%)	26,92	25,68	26,03	26,87	26,97	29,17	29,33	30,63

Fonte: Autores, 2020.

Limite de liquidez = 28,23%

Quadro 5 - Resultados do limite de plasticidade

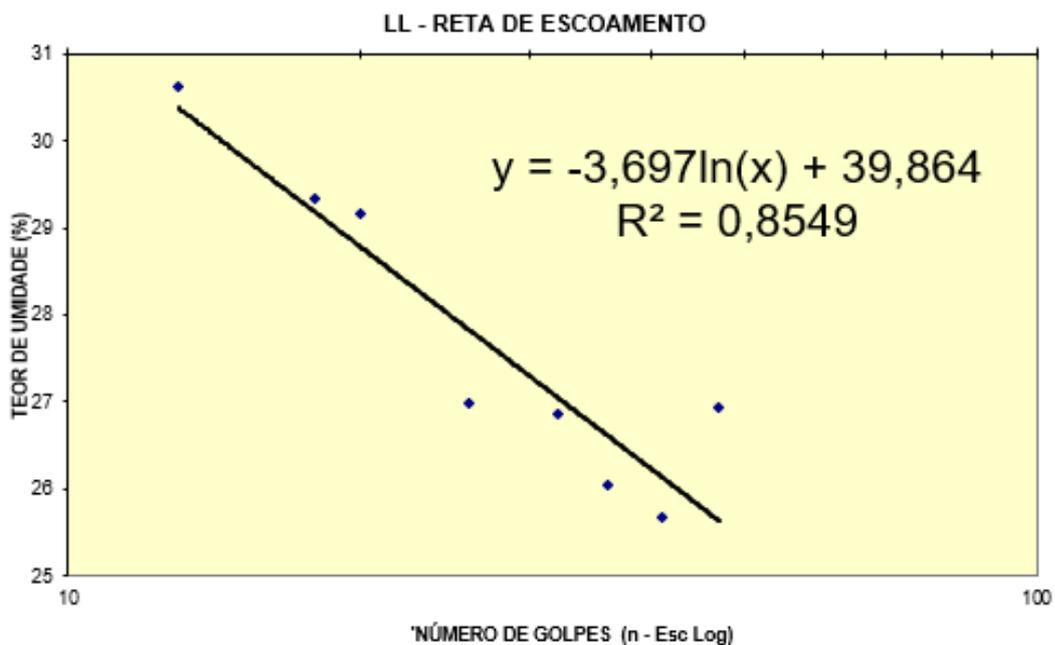
Capsula	C144	C04	C73	C101	C226
Teor de umidade (%)	24	25	24	19	23

Fonte: Autores, 2020.

Limite de plasticidade = 23%

Sendo assim tendo um Índice de plasticidade igual a 5,36%.

Figura 8 – Reta de escoamento do limite de liquidez



Fonte: Autores, 2020

Com os resultados dos limites de Atterberg foi possível verificar que o solo é de baixa plasticidade

5.2.3 Densidade real das partículas

Foi realizado o ensaio de densidade real das partículas para ambas as amostras, obtendo assim os seguintes resultados apresentados no Quadro 6:

Quadro 6 - Resultados de densidade real das partículas

	Picnômetro + água (g)	Picnômetro + solo + água (g)	Solo seco (g)	Água deslocada (g)	Densidade real (g/cm ³)
Amostra 1	157,15	200,13	80,65	37,67	2,141
Amostra 2	155,08	197,36	95,33	53,05	1,797

Fonte: Autores, 2020

5.2.4 Índice de consistência

O índice de consistência demonstra como o solo trabalha quando há compressão simples, classificando o solo de diversas maneiras; desde solos moles até solos duros, feito através da seguinte equação:

$$IC = \frac{LL - h}{IP} \quad (24)$$

Onde:

IC = Índice de Consistência

LL = Limite de liquidez

h = Umidade

IP = Índice de Plasticidade

O resultado do IC deu 0,39, para entender melhor sua classificação, tem o resumo do Quadro 7.

Quadro 7 - Classificação do IC

Muito moles (vasas)	Moles	Médias	Rijas	Duras
IC < 0	0 < IC < 0,50	0,50 < IC < 0,75	0,75 < IC < 1,00	IC > 1,00

Fonte: Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos (CAPUTO, 1988). Com modificações.

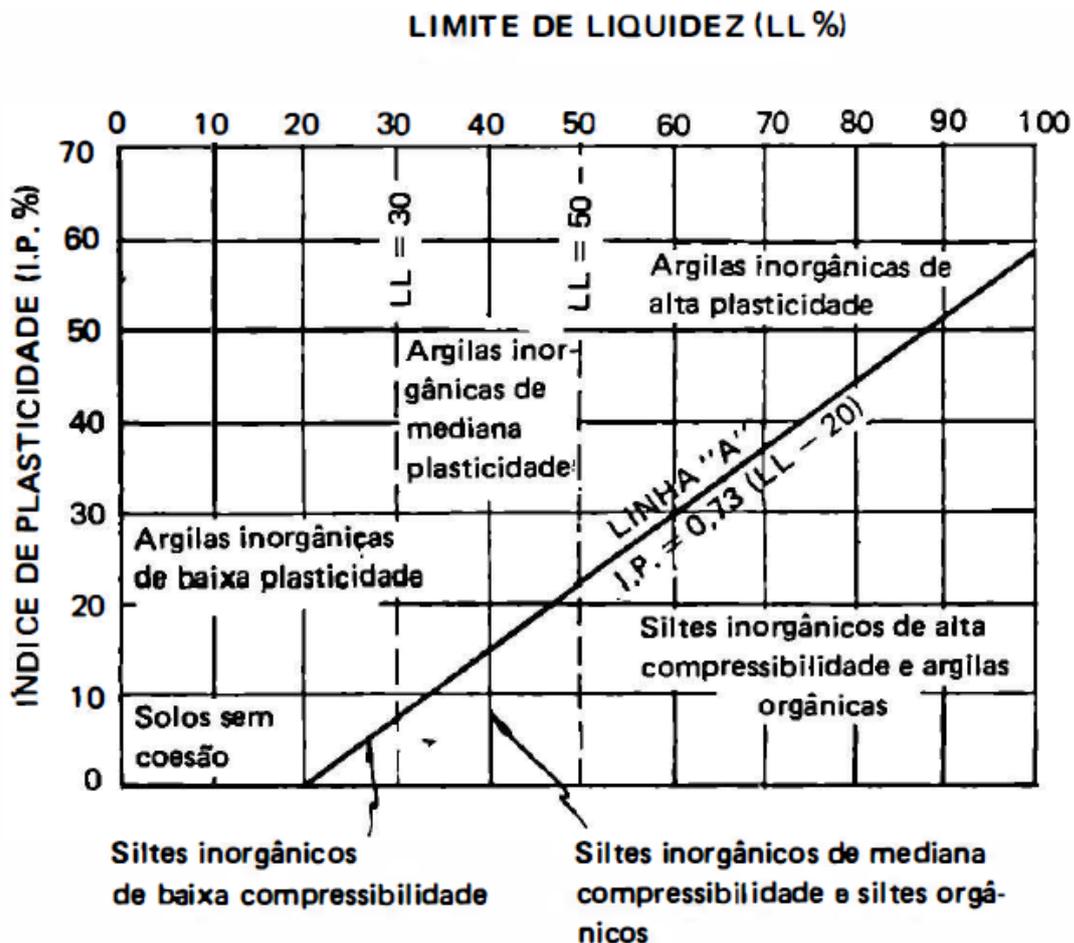
O IC do solo ficou classificado como uma argila mole.

5.2.5 Carta de plasticidade

Com a carta de plasticidade pode-se obter algumas informações, como o tipo de solo, se é argila, silt ou solo orgânico, seu nível de plasticidade, se é alta ou baixa e até mesmo informações de solos não coesivos.

Com o intuito de compreender melhor as condições do solo das amostras, foi elaborado uma carta de plasticidade seguindo o exemplo da Figura 9.

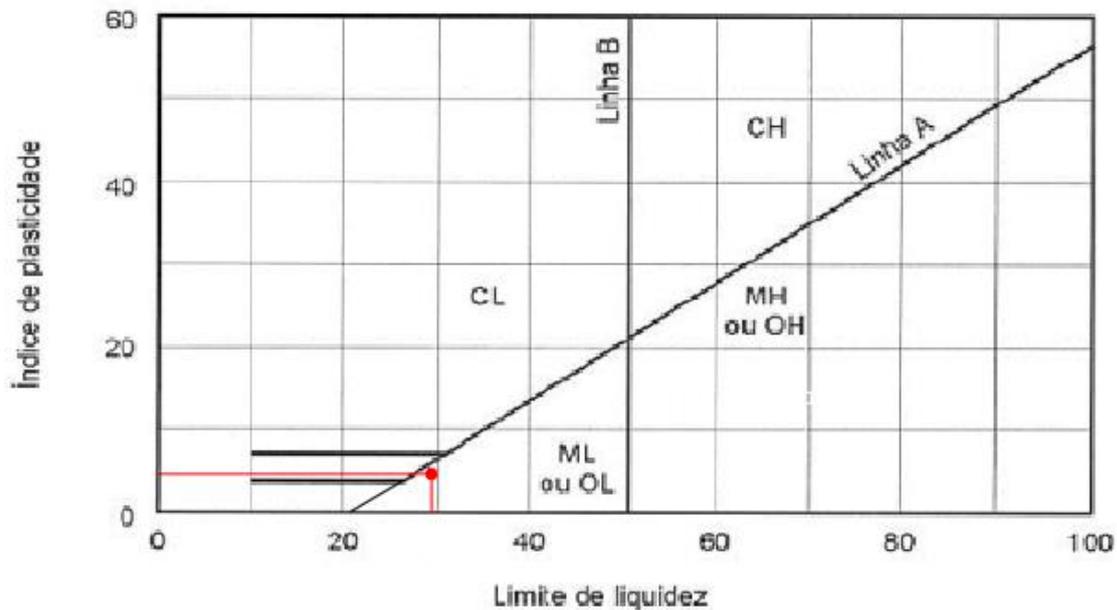
Figura 9 - Exemplo de carta de plasticidade



Fonte: Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos (CAPUTO, 1988, p.57)

Com os resultados do limite de liquidez e o índice de plasticidade foi possível montar a carta de plasticidade, o resultado segue a Figura 10.

Figura 10 - Carta de plasticidade



Fonte: Autores, 2020

No caso da amostra de pode definir que é um solo orgânico de baixa plasticidade.

Solos orgânicos podem ser tanto silt como argila, estes se distinguem geralmente pela cor mais escura e odor característico, normalmente classificados como turfas (CAPUTO, 1988).

Geralmente os solos turfosos não são identificados pelos ensaios, o que indica que a amostra não é uma turfa, sendo assim pode ser trabalhada para melhorar a sua resistência. A baixa plasticidade é uma boa propriedade que indica que se houver um controle da absorção de água, poderá melhorar sua plasticidade de forma considerável.

5.2.6 Ensaios de compactação

Para o ensaio de compactação, foram realizados amostragem com 7 curvas, a saber:

- a) Amostra 01 – Solo Puro;
- b) Amostra 02 – Mistura solo/pó na razão de 95/5;
- c) Amostra 03 – Mistura solo/pó na razão de 90/10;
- d) Amostra 04 – Mistura solo/pó na razão de 85/15
- e) Amostra 05 – Mistura solo/flake na razão de 95/5;
- f) Amostra 06 – Mistura solo/flake na razão de 90/10;
- g) Amostra 07 – Mistura solo/flake na razão de 85/15

A Tabela 3 sintetiza os resultados obtidos nos ensaios de compactação.

Tabela 3 - Resultados da curva de compactação

(continua)

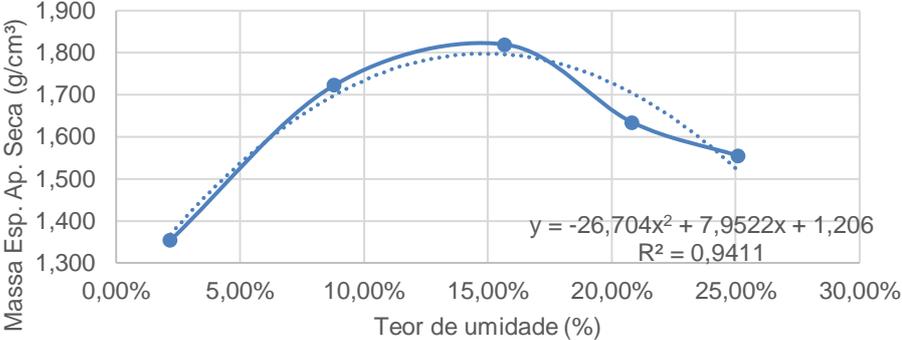
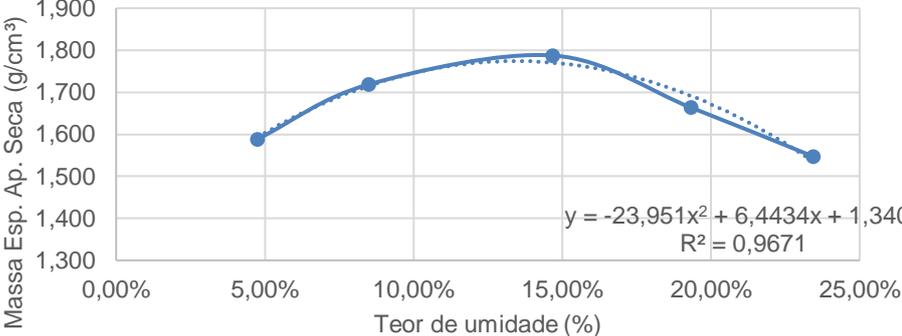
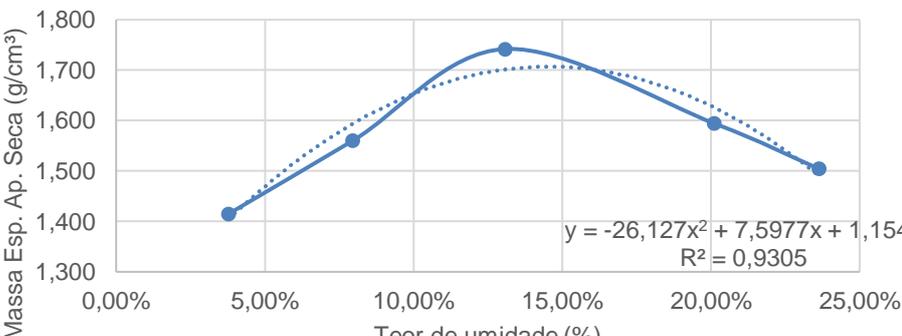
Curva de compactação	Resumo
<p style="text-align: center;">Solo puro</p>  <p>Massa Esp. Ap. Seca (g/cm³)</p> <p>Teor de umidade (%)</p> <p style="text-align: center;">$y = -26,704x^2 + 7,9522x + 1,206$ $R^2 = 0,9411$</p>	<p>$\delta = 1,820 \text{ g/cm}^3$</p> <p>Umidade Ótima = 15,69%</p>
<p style="text-align: center;">95% Solo/5% Pó de P.E.T.</p>  <p>Massa Esp. Ap. Seca (g/cm³)</p> <p>Teor de umidade (%)</p> <p style="text-align: center;">$y = -23,951x^2 + 6,4434x + 1,3409$ $R^2 = 0,9671$</p>	<p>$\delta = 1,787 \text{ g/cm}^3$</p> <p>Umidade Ótima = 14,70%</p>
<p style="text-align: center;">90% Solo/10% Pó de P.E.T.</p>  <p>Massa Esp. Ap. Seca (g/cm³)</p> <p>Teor de umidade (%)</p> <p style="text-align: center;">$y = -26,127x^2 + 7,5977x + 1,1545$ $R^2 = 0,9305$</p>	<p>$\delta = 1,742 \text{ g/cm}^3$</p> <p>Umidade Ótima = 13,09%</p>

Tabela 3 – Resultados da curva de compactação

(continuação)

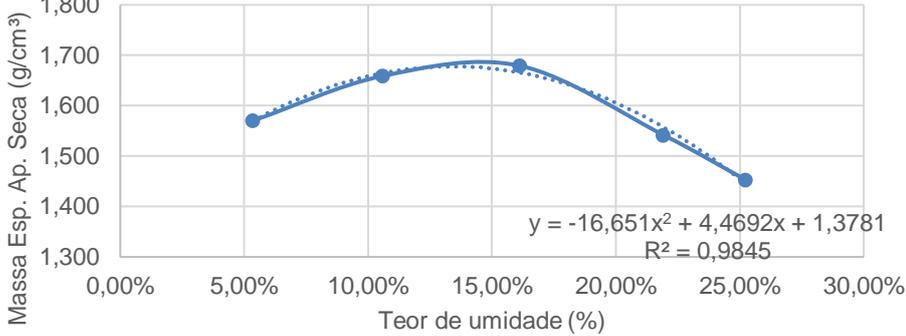
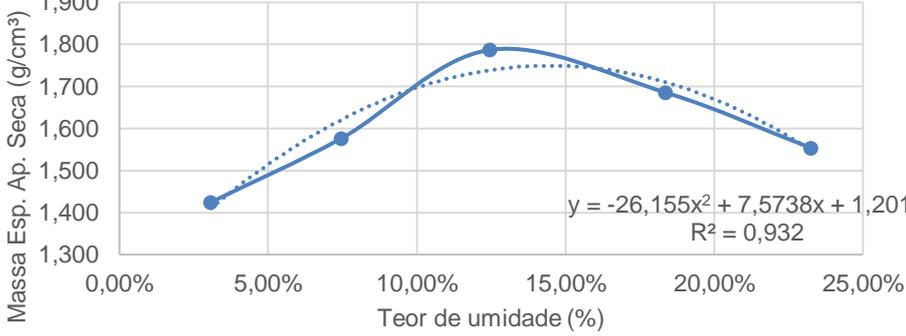
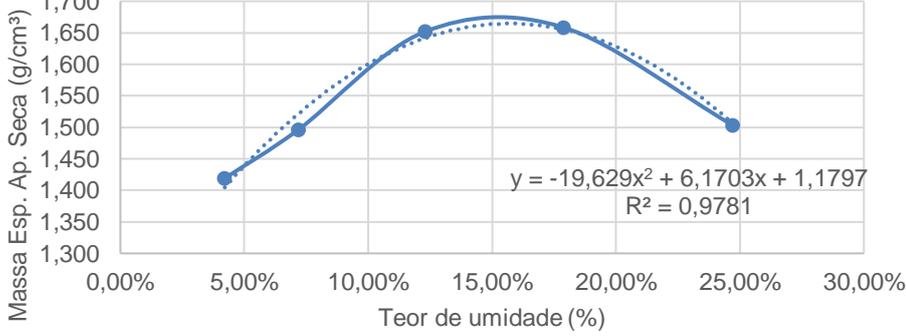
Curva de compactação	Resumo
<p data-bbox="531 472 903 506">85% Solo/15% Pó de P.E.T.</p>  <p data-bbox="794 741 1150 797">$y = -16,651x^2 + 4,4692x + 1,3781$ $R^2 = 0,9845$</p>	<p data-bbox="1230 517 1466 551">$\delta = 1,679 \text{ g/cm}^3$</p> <p data-bbox="1230 752 1466 846">Umidade Ótima = 16,13%</p>
<p data-bbox="531 1010 903 1043">95% Solo/5% Flake de P.E.T.</p>  <p data-bbox="831 1256 1187 1312">$y = -26,155x^2 + 7,5738x + 1,2013$ $R^2 = 0,932$</p>	<p data-bbox="1230 1048 1466 1081">$\delta = 1,787 \text{ g/cm}^3$</p> <p data-bbox="1230 1283 1466 1377">Umidade Ótima = 12,47%</p>
<p data-bbox="531 1541 903 1574">90% Solo/10% Flake de P.E.T.</p>  <p data-bbox="778 1765 1134 1821">$y = -19,629x^2 + 6,1703x + 1,1797$ $R^2 = 0,9781$</p>	<p data-bbox="1230 1585 1466 1619">$\delta = 1,652 \text{ g/cm}^3$</p> <p data-bbox="1230 1821 1466 1915">Umidade Ótima = 12,29%</p>

Tabela 3 – Resultados da curva de compactação

		(conclusão)
Curva de compactação	Resumo	
85% Solo/15% Flake de P.E.T.		
	$\bar{\rho} = 1,625 \text{ g/cm}^3$	
	Umidade Ótima = 16,63%	

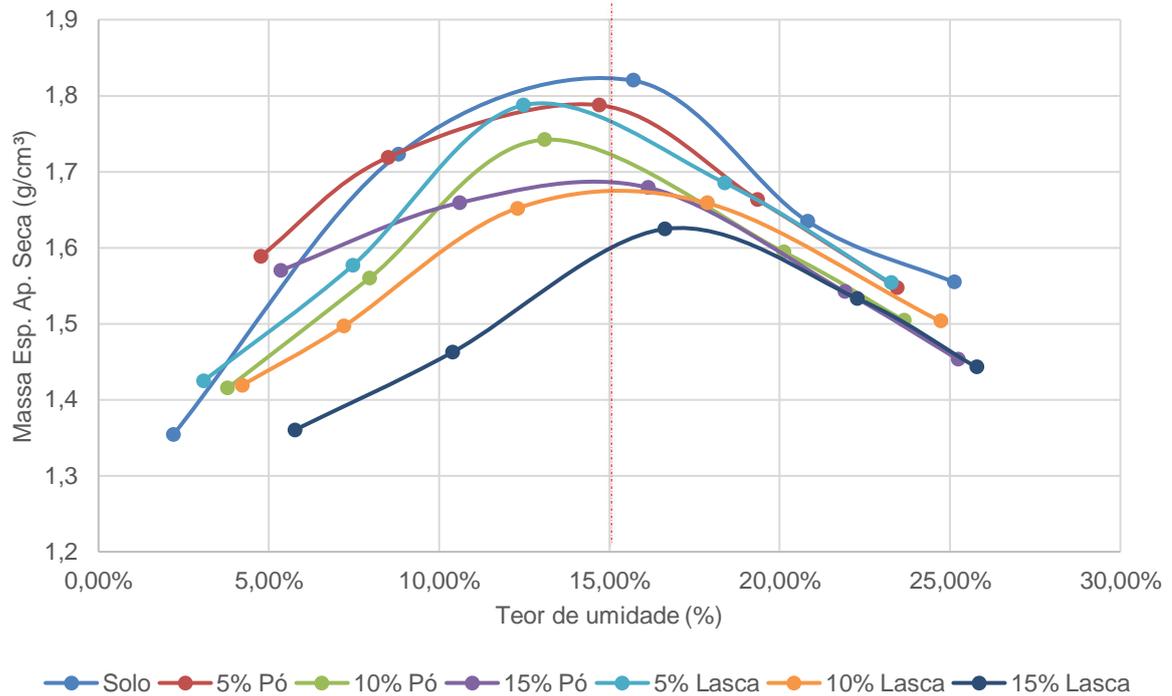
Fonte: Autores, 2020.

A curva de compactação na proporção solo puro apresentou-se como referência em relação as demais misturas.

Algumas características podem ser observadas através da Tabela 3, tais como a umidade ótima, que ficou entre 12% a 17%; enquanto a do solo puro ficou em 15%, indicando que algumas misturas ficaram próximo do solo puro. Outra conclusão interessante foi a alteração da densidade em comparação com o solo puro, principalmente a mistura com o flake, apresentando-se como a de menor densidade registrada, resultado adquirido devido a granulometria do flake ser maior que a do solo, gerando mais número de vazios.

Para melhor visualização, a Figura 11 sintetiza o comparativo com todas as curvas.

Figura 11 - Comparação das curvas de compactação



Fonte: Autores, 2020.

Comparando todas as curvas, percebe-se que a mistura que se destaca é a de 15% pó de P.E.T., pois apresenta a umidade ótima próxima ao do solo puro e sua densidade é a mais baixa em relação ao formato pó. O flake em 5% e 10% de mistura apresenta menor densidade que o pó, mas sua umidade ótima é menor em relação ao solo puro; além que o P.E.T. em pó é o material que mais se assemelha com o solo, tornando-se possível substituir uma parte dos finos no solo puro – cenário que não ocorre com o flake, visto que sua granulometria é maior e acaba deixando maior número de vazios quando misturado, explicando sua baixa densidade.

A linha demonstra o momento em que ocorre a umidade ótima do solo puro que serve de comparação com as misturas. A linha deixa evidente sua proximidade com a mistura de 15%. Outra observação é que quando os solos ultrapassam a linha dos 15% e ficam completamente saturados, passam a apresentar o mesmo comportamento, demonstrando que antes da saturação completa há um desempenho mais significativo na mistura de 15% de pó de P.E.T.

5.2.7 Ensaio de RCS

A partir da determinação da densidade máxima para cada mistura, compreende-se o comportamento da mistura no estado compactado através da relação Tensão x Deformação.

Para tal, foram realizados os ensaios de Resistência à Compressão Simples – R.C.S, nos mesmos teores utilizados para a construção da curva de compactação. Os ensaios foram realizados para verificar se as misturas afetariam sua resistência mecânica e, para isso, foram analisados 13 corpos de provas. O número de amostras foi calculado com base no erro admitido para este trabalho, conforme já apresentado através da Equação (23); os resultados dos ensaios de R.C.S. são apresentados pelo Quadro 8.

Quadro 8 - Resultados do R.C.S

(continua)

Amostra	CP	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Carga (kgf)
Solo	1	99	127	180
Solo	2	99	126	151
Solo	3	99	126	124
Solo	4	99	127	157
Solo	5	99	126	171
Solo	6	100	127	121
5% Pó	1	99	128	178
5% Pó	2	99	127	171
5% Pó	3	100	127	181
5% Pó	4	100	128	195
5% Pó	5	100	128	146
5% Pó	6	100	128	145
10% Pó	1	100	128	147
10% Pó	2	100	130	135
10% Pó	3	100	128	116
10% Pó	4	100	128	126
10% Pó	5	99	128	101
10% Pó	6	100	128	91
15% Pó	1	100	129	184
15% Pó	2	100	129	158
15% Pó	3	100	129	144
15% Pó	4	100	129	150
15% Pó	5	100	129	143
15% Pó	6	100	129	134
5% Flake	1	100	129	154
5% Flake	2	100	128	115
5% Flake	3	100	130	128
5% Flake	4	100	128	172
5% Flake	5	100	128	130
5% Flake	6	100	128	163
5% Flake	7	100	129	145

Quadro 8 – Resultados do R.C.S

(conclusão)				
Amostra	CP	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Carga (kgf)
10% Flake	1	100	130	99
10% Flake	2	100	129	94
10% Flake	3	101	129	82
10% Flake	4	100	128	93
10% Flake	5	100	131	70
10% Flake	6	101	128	99
10% Flake	7	100	129	95
15% Flake	1	100	130	80
15% Flake	2	101	129	64
15% Flake	3	100	131	72
15% Flake	4	100	133	51
15% Flake	5	100	131	71
15% Flake	6	101	130	68
15% Flake	7	100	130	78

Fonte: Autores, 2020.

Após receber os dados foram aplicados métodos estatísticos para verificar os conjuntos de dados.

Para a análise dos resultados, utilizou-se métodos estatísticos de Análise de Variância – ANOVA, de forma a ser possível testar as hipóteses apresentadas. Para a hipótese verdadeira para o conjunto de dados o método prevê que a sentença $F > F$ crítico seja atendida. A Tabela 4 sintetiza um resumo dos dados e a Tabela 5 sintetiza os valores obtidos para a análise.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Somente solo	6	904	150,6667	581,0667
5% pó	6	1016	169,3333	401,8667
10% pó	6	716	119,3333	441,0667
15% pó	6	913	152,1667	306,5667
5% flake	7	1007	143,8571	423,1429
10% flake	7	632	90,28571	112,5714
15% flake	7	492	70,28571	132,2381

Fonte: Autores, 2020.

Tabela 5 - Resultados da análise de variância

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	52179,23	6	8696,538	26,10222	4,63E-12	2,349027
Dentro dos grupos	12660,55	38	333,1723			
Total	64839,78	44				

Fonte: Autores, 2020.

Então para o presente trabalho, admite-se como hipótese verdadeira a relação de misturas que apresentem significativa melhora na condição de plasticidade do solo ou minimamente mantenha características semelhantes ao solo puro no estado compactado.

Nota-se que as médias do solo são muito próximas da mistura do 15% do pó de P.E.T., mantendo assim um comportamento parecido com somente o solo, enquanto as outras apresentam resultados bem discordantes.

Uma vez identificados que existem misturas com similaridades quando comparadas ao solo puro, realizou-se o teste exato de Fisher, conforme Tabela 6, para identificar qual(is) são esta(s) amostra(s).

Tabela 6 - Teste-z: duas amostras para médias

	Solo Puro	5% pó	10% pó	15% pó	5% flake	10% flake	15% flake
Média	150,667	169,333	119,333	152,167	143,857	90,286	70,286
Variância conhecida	581,067	401,867	441,067	306,567	507,467	129,900	144,800
Observações	6,000	6,000	6,000	6,000	7,000	7,000	7,000
Hipótese da diferença de média	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
z	-2,630	-2,630	1,251	-1,357	-0,629	4,224	6,031
P(Z<=z) uni-caudal	0,004	0,004	0,105	0,087	0,265	0,000	0,000
z crítico uni-caudal	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645
P(Z<=z) bi-caudal	0,009	0,009	0,211	0,175	0,529	0,000	0,000
z crítico bi-caudal	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960

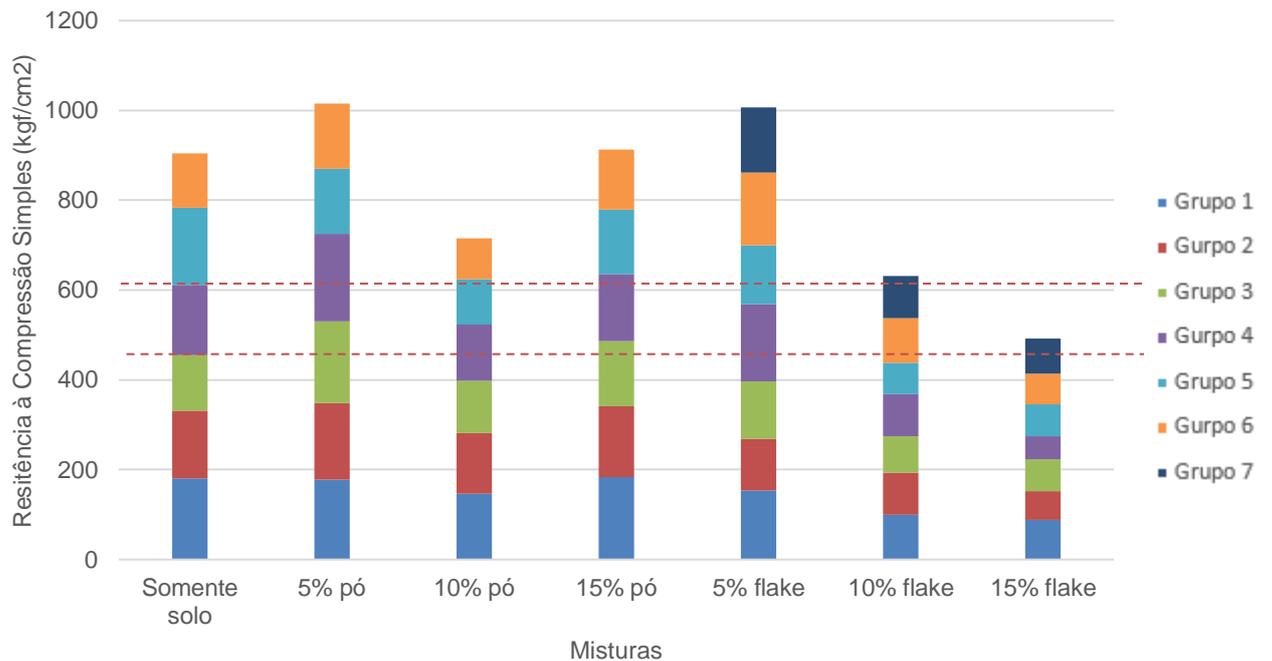
Fonte: Autores, 2020.

Pode-se observar que a média e a variância da mistura 15% pó é a que mais se assemelha ao estado natural do solo, outra observação é que nenhuma das misturas apresentou ganho significativo de resistência. A grande maioria, em especial o flake, demonstrou certa perda de resistência, isso se deve ao fato de o material deixar mais número de vazios no solo

quando misturado. O número de vazios indica que uma perda na quantidade de solo natural; a ausência dessa matéria faz que ocorra perda de resistência, fazendo o pó ser o mais indicado para a substituição.

Juntando os resultados temos a Figura 12, que serve de comparativo para o solo puro e as misturas.

Figura 12 - Linha de tendência do solo puro comparado com as misturas



Fonte: Autores, 2020

Destarte, admite-se como hipótese mais representativa, que a utilização de amostras na mistura 85/15% (solo/pó) mantém as características semelhantes do solo, e apesar de não haver um ganho significativo de resistência, acredita-se que a mistura com o P.E.T. trará benefícios ao solo – como uma redução da plasticidade natural. Assim, tornando-o o mais impermeável e diminuindo um dos fatores que causam as manifestações patológicas pós escavações.

6 CONCLUSÃO

Esta pesquisa visa contribuir com o desenvolvimento da engenharia no intuito de uso e reúso de materiais, melhorar e equacionar a cadeia produtiva. Destarte, como tema central desta pesquisa, buscou-se a melhoria do solo proveniente de escavações de valas, inicialmente classificado como inservível durante o processo de implantação do sistema sanitário. Para tal, foram realizados estudos com a variação de diferentes teores solo/resíduo na tentativa de compreender a possibilidade de ganhos nos parâmetros geomecânicos.

O solo utilizado para a pesquisa foi do tipo “bota fora”, provenientes das aberturas de valas para implantação do sistema de esgotamento sanitário. Foram retiradas duas amostras de pontos de descartes diferentes, com características granulares diferentes. Os limites de Atterberg realizados para ambas amostras, igualmente apresentaram resultados distintos.

A principal manifestação patológica proveniente do processo de aberturas de valas, é relativo à plasticidade, concomitando em “afundamentos pontuais”, conhecidos como trilhas de roda. Neste sentido, propôs-se neste trabalho, a utilização de misturas solo/resíduo no intuito de melhorar tais características. Para tal, utilizou-se como resíduo o P.E.T., em função de sua característica inerte em relação à absorção de água, corroborando com o conceito de redução de plasticidade. Logo, foram estabelecidos 13 corpos de provas, sendo eles 6 com P.E.T. em pó e 7 como P.E.T. em flake.

Com os ensaios de compactação e R.C.S, pôde-se entender melhor o comportamento do solo puro e o solo argiloso/P.E.T. Um dos destaques do ensaio de compactação foi a redução de densidade à medida que se misturava ao P.E.T. As misturas que apresentaram densidade mais baixa foram com o flake, que devido a sua granulometria alta, acaba deixando o solo com maior número de vazios. Este fato resultou em diferenças entre as amostras compostas por misturas com Pó de PET e Flake, se comparadas ao solo puro. Como maior destaque, é possível perceber que resistência mecânica obtida com as misturas Flake, ficaram abaixo das obtidas com o solo natural. Já o pó de P.E.T., como tem uma granulometria menor, acabou preenchendo melhor os vazios, pois seus finos são parecidos com o do solo natural e sua densidade ficou abaixo do solo natural. Em destaque, a mistura de 15% de pó de P.E.T., que além de diminuir a densidade manteve a umidade ótima semelhante ao solo puro. Os resultados obtidos, não obtiveram ganhos significativos no quesito resistência, mas apresentou-se satisfatório na redução da plasticidade.

Em face conclusiva, os resultados apontam como potencial uso, a mistura solo/resíduo na proporção 85/15 %, pois apresenta características semelhantes ao solo puro,

mas com uma redução da plasticidade. Por fim, acredita-se que tais características possam contribuir para uma melhor aplicação de materiais inicialmente consideradas inservíveis, em obras que possam vir a consumir grandes volumes, como é o caso estudado.

REFERÊNCIAS

- ABIPET – Associação Brasileira da Indústria do PET. **Benefícios da reciclagem de PET**. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=49/>>. Acesso em: 18 mai. 2020.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182. **Ensaio de compactação**. 1988.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9814. **Execução de rede coletora de esgoto sanitário**. 1987.
- ALVES, Joner Oliveira *et al.* **Síntese de nanomateriais utilizando garrafas PET pós-consumo como matéria-prima**. *Tecnol. Metal. Mater. Miner.*, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 59-63, jan.-mar. 2012.
- APTA – Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios. **Solos do estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/solosp/>. Acesso em: 22 out. 2019.
- BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- CAETANO, Luciane F. *et al.* **Análise da viabilidade de utilização de material PET reciclado na produção de fôrmas para concreto**. IBRACON., Rio Grande do Sul, 2007.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988.
- CORÓ, Angela Ghisleni. **Investigação das propriedades mecânicas de concretos reforçados com fibras PET**. 2002. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2002.
- DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ES 307. **Determinação da compressão simples de amostras indeformadas**. 1997.
- DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-IE 004. **Determinação da compressão simples de amostras indeformadas**. 1994.
- DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 082. **Determinação do limite de plasticidade**. 1994.
- DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 087. **Determinação dos fatores de contração**. 1994.
- DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 122. **Determinação do limite de liquidez**. 1994.
- DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 162. **Ensaio de compactação usando amostras trabalhadas**. 1994.

- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT-ME 172. **Determinação do índice de suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas.** 2016.
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT-ME 005. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos terminologia.** 2003.
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT-ES 159. **Fresagem a frio.** 2011.
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT-ES 144. **Imprimação com ligante asfáltico.** 2014.
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. IPR-723. **Manual de estudos de tráfego.** 2006.
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. IPR-718. **Manual de projeto de interseções.** 2006.
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. IPR-714. **Manual de pavimento rígidos.** 2005.
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. IPR-719. **Manual de pavimentação.** 2006.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Lecantamento de reconhecimento de solo de alta intensidade de Santa Catarina.** Brasília, DF: Embrapa, 1998.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- Esgotamento sanitário: operação e manutenção de redes coletoras de esgotos: guia do profissional em treinamento: nível 2 /** Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Brasília: Ministério das Cidades, 2008.
- GALLI, Bárbara *et al.* **Uso de garrafas de poli-tereftalato de etileno – PET como insumo alternativo na construção de edificações residenciais.** Revista de Arquitetura da Imed, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 174-181, nov. 2012.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de pedologia.** 2007.
- LEPSCH, Igo F. **Formação e conservação dos solos.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- MELO, José Wellington. **Produção e caracterização de pó de PET – Poli (tereftalato de etileno) obtido a partir de garrafas pós-consumo.** Dissertação (Mestrado) – Rede Temática em Engenharia de Materiais - REDEMAT. Universidade Estadual de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG, 2004.
- NOGUEIRA, João Baptista. **Mecânica dos solos: Ensaio de laboratório.** São Carlos: Eescusp, 2005.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

RODRIGUES, José Luís Azevedo. **Conceção de pavimentos rígidos**. Porto: Faculdade de engenharia da universidade do Porto, 2011.

SENA, Rilson José de et al. **Avaliação mecânica de tijolo maciço solo-cimento contendo resíduo de PET**. Revista de Veredas MPCT, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 69-83, 2017.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007.

SILVA, Elisângela Aparecida da *et al.* **Processo de moagem de garrafas PET pós-consumo**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2019.

APÊNDICE A – Fotos dos Ensaio

Figura 13 - Limite de Liquidez e Plasticidade



Fonte: Autores, 2020

Figura 14 – Amostra no dispersor para a sedimentação.



Fonte: Autores, 2020

Figura 15 – Transferindo amostra 1 para a proveta.



Fonte: Autores, 2020

Figura 16 – leitura da amostra 2 na sedimentação.



Fonte: Autores, 2020

Figura 17 - Realização do Ensaio de Densidade Real das Partículas



Fonte: Autores, 2020

Figura 18 - Rompimento do corpo de prova 1



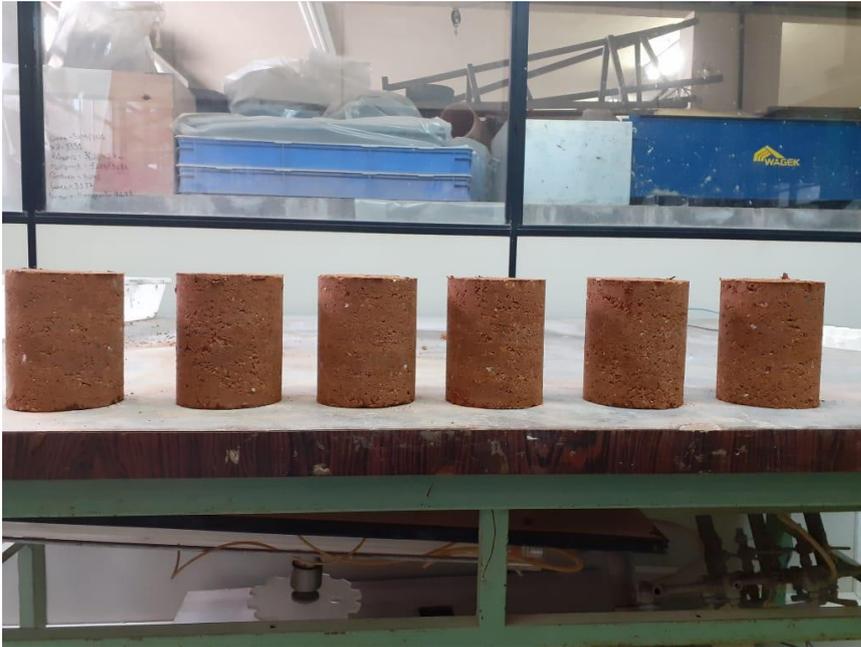
Fonte: Autores, 2020

Figura 19 - Rompimento do corpo de prova 2



Fonte: Autores, 2020

Figura 20 - Corpos de prova



Fonte: Autores, 2020

Figura 21 - Mistura solo/P.E.T.



Fonte: Autores, 2020

Figura 22 - Corpos de provas rompidos



Fonte: Autores, 2020

Figura 23 – Ensaio de Proctor normal com a mistura solo/P.E.T



Fonte: Autores, 2020