



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Redeenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Lídia Georgiana Guedes de Souza

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL DAS
ESTAÇÕES XAMBIOÁ E KRAHÔ NA CIDADE DE PALMAS TOCANTINS

Palmas – TO

2019

Lídia Georgiana Guedes de Souza

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL DAS
ESTAÇÕES XAMBIOÁ E KRAHÔ NA CIDADE DE PALMAS TOCANTINS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II
elaborado e apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil pelo Centro Universitário
Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas.

Palmas – TO

2019

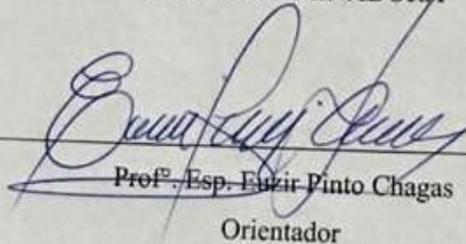
Lidia Georgiana Guedes de Souza
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL DAS
ESTAÇÕES XAMBIOÁ E KRAHÔ NA CIDADE DE PALMAS TOCANTINS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II
elaborado e apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil pelo Centro Universitário
Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas.

Aprovado em: 13 / 11 / 2019

BANCA EXAMINADORA



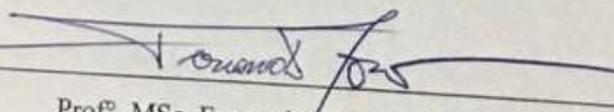
Prof.^o Esp. Euzir Pinto Chagas
Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP



Prof.^o MSc. Edivaldo Alves dos Santos

Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP



Prof.^o MSc. Fernando Moreno Suarte Júnior
Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP

Palmas - TO

2019

Dedico este trabalho aos meus pais, Jovelina e Ricardo, que se dedicam a minha formação humana e acadêmica, bem como evidenciaram a educação como prioridade demonstrando os componentes necessários para a vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiro agradeço a minha família, em especial minha mãe, Jovelina Bezerra Guedes, meu pai, José Ricardo Gomes de Souza e as minhas primas Valeria Gomes de Sá e Laylla Carvalho Souza. Não foram fáceis os meses de árduo trabalho, dedicação e estresse, no qual, pude contar com todos nos momentos em que foi preciso.

Gostaria de agradecer à meu tio, Rilmar Gomes de Souza, e à minha tia, Jucimária Dantas Galvão, pelo apoio nos almoços de domingo enquanto estava fazendo o trabalho, incentivando assim a sua conclusão.

Ao meu avô, Manuel Pereira Guedes (in memorian), que, mesmo não estando aqui para me ver vencer essa tarefa, me deu apoio assim que decidi ingressar no curso e por ter colocado tanta confiança em mim quando muitos não o fizeram.

Ao meu namorado, Gabriel Antônio Pereira Avelino, por estar sempre ao meu lado, me escutando, me distraíndo nos momentos em que precisava, por ter me ajudado a recolher os materiais necessários nas estações para os ensaios e, principalmente, o incentivo na elaboração do trabalho.

Às minhas primas, Lívia Regina Guedes Maciel que escutou minhas explicações sobre o assunto abordado, bem como por ter me ajudado na contagem do tráfego e Monnique Costa Guedes, que leu todo o trabalho corrigindo o que foi pertinente. Ambas, como todos, me apoiaram nessa caminhada.

Agradeço à minha prima Renata Antunes Guedes e à minha madrinha Aldaci Bezerra Guedes por todo o incentivo e orações feitas apesar da distância física.

Ao meu orientador, Euzir Pinto Chagas, pela dedicação, companheirismo e confiança durante a elaboração do trabalho de conclusão, assim como pela motivação nos momentos de desânimo.

Aos professores do Centro Universitário Luterano de Palmas, pelos ensinamentos transmitidos, conselhos e disponibilidade para dúvidas ao longo do curso.

Ao Miller, pela ajuda nos ensaios de laboratório, pelo apoio em todo o necessário, pela explicação detalhada quanto à forma correta de se fazer e auxílio na compreensão dos resultados.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação, o meu muito obrigada.

“Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Se estamos possuídos por uma inabalável determinação, conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho.”
(Dalai Lama)

RESUMO

SOUZA, Lídia Georgiana Guedes. **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL DAS ESTAÇÕES XAMBIOÁ E KRAHÔ NA CIDADE DE PALMAS TOCANTINS**. 91f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas – TO, 2019.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma análise do comportamento mecânico dos solos constituintes das camadas de subleito, de acordo com o dimensionamento, caracterizando o solo conforme os ensaios pertinentes feitos nas estações Xambioá e Krahô. Inicialmente, foram diagnosticadas as manifestações patológicas apresentadas nos locais, sendo identificadas de acordo com a norma. Em seguida, foram realizados os ensaios laboratoriais para caracterizar e classificar os solos. Na estação Xambioá, o limite de liquidez foi de 34,80%, limite de plasticidade de 21,62% e o índice de plasticidade foi de 13,20%. Na Krahô saiu do estado líquido para o plástico com 42,72%, do plástico para o semi-sólido com 25,62% e o índice de plasticidade com 17,10%. No ensaio de granulométrica da primeira estação a peneira de 4,8mm passou 96,45%, constatando que o material é predominantemente composto por pedregulhos, diferente da segunda estação, na qual a mesma peneira apresentou passando 99,65%, sendo predominantemente fino. No ensaio de compactação realizado nos solos, obteve-se o valor de 9,50% (Xambioá) e 11,90% (Krahô) como umidade ótima para compactação. O resultado médio de Índice de Suporte Califórnia (ISC) de 29,30% na estação Xambioá e 21,95% na estação Krahô. Com os resultados, foi determinada a classificação do solo, ou seja, na primeira estação o solo é silte arenoso argiloso marrom/pedregulho do grupo A-2-4, portanto, com um comportamento bom para o subleito. O solo da segunda estação é um silte arenoso argiloso vermelho do grupo A-6, ou seja, ele apresenta um comportamento adequado para o subleito de acordo com os ensaios mesmo sofrendo por mudanças de volume grande nos estados secos e úmidos. Após analisar os resultados dos ensaios e realizado o estudo de tráfego, foi determinado o número “N”, dimensionando o pavimento flexível de cada estação, sendo que, para o revestimento obteve espessura de 5,0 cm, a base obteve 16,0 cm e não tem espessura para sub-base e reforço de subleito. Por fim, foi analisado o pavimento dimensionado e acredita-se que com as informações em campo, o pavimento dimensionado atende de maneira técnica o tráfego estudado.

Palavras-chave: Estações. Dimensionamento. Pavimento.

ABSTRACT

SOUZA, Lúcia Georgiana Guedes. **ANALYSIS OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF THE FLEXIBLE PAVEMENT OF XAMBIOÁ AND KRAHÔ STATIONS IN THE CITY OF PALMAS TOCANTINS.** 91f. Work of Course Conclusion (Graduation) – Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas – TO, 2019.

The present work aims to present an analysis of the mechanical behavior of the constituent soils of the layers according to the dimensioning, characterizing the soil according to the relevant tests made in the Xambioá and Krahô stations. Initially, the pathological manifestations presented at the sites were diagnosed and identified according to the standard, then obtained the laboratory tests to characterize and classify the soils. At Xambioá station, the liquidity limit was 34.80%, a plasticity limit of 21.62% and the plasticity index was 13.20%. Krahô came out of liquid state for plastic with 42.72%, from plastic to semi-solid with 25.62% and the plasticity index with 17.10%. In the granulometric assay in the first season, the 4.8mm sieve passed 96.45%, noting that the material is predominantly composed of boulders, different from the second season, in the same sieve presented 99.65%, being predominantly thin. In the Normal Proctor assay performed in soils, one obtained the value of 9.50% (Xambioá) and the other 11.90% (Krahô) as optimum moisture for compaction and the average California Support Index (ISC) result of 29.30% in the Xambioá station and 21.95% in krahô station. With the results, the soil classification was determined, that is, in the first season the soil is brown clay yosous brown/boulder of group A-2-4, therefore, with a good behavior for the subgrade. The soil of the second season is a red clay ethanous silt of group A-6, that is, it presents a suitable behavior for the subgrade according to the tests even suffering by large volume changes in the dry and humid states. After analyzing the results of the tests and the traffic study was performed, the number "N" was determined, sizing the flexible floor of each station, and for the coating obtained a thickness of 5.0 cm, the base obtained 16.0 cm and has no thickness for sub-base and subgrade reinforcement. Finally, the scaled floor was analyzed and it is believed that with the information in the field, the scaled floor technically serves the traffic studied.

Keywords: Stations. Sizing. Pavement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil Genérico do Solo.....	21
Figura 2 – Sistema de Várias Camadas	24
Figura 3 – Áreas de Contato Pneu x Pavimento.....	24
Figura 4 – Distribuição dos Esforços	26
Figura 5 – Efeitos Superpostos.....	27
Figura 6 – Camadas do Pavimento Flexível.....	27
Figura 7 – Distribuição das Tensões no Pavimento Flexível	30
Figura 8 – Ilustração dos Três Tipos de Tratamento Superficial	33
Figura 9 – Distribuição das Tensões no Pavimento Rígido.....	34
Figura 10 – Afundamento de Trilha de Roda.....	40
Figura 11 – Afundamento Local.....	41
Figura 12 – Trinca Transversal.....	41
Figura 13 – Trinca Longitudinal.....	42
Figura 14 – Trinca Interligada Tipo Couro de Jacaré.....	42
Figura 15 – Trinca Interligada Tipo Bloco	43
Figura 16 – Desgaste	43
Figura 17 – Buraco/Panela	44
Figura 18 – Ondulação	44
Figura 19 – Escorregamento.....	45
Figura 20 – Exsudação	45
Figura 21 – Localização da Estação Krahô	46
Figura 22 – Localização da Estação Xambioá.....	46
Figura 23 – Patologias das Estações Krahô e Xambioá	47
Figura 24 – Materiais Separados na Peneira 4,8mm	48
Figura 25 – Esquema dos Estados do Limite de Consistência	49
Figura 26 – Aparelho CasaGrande	49
Figura 27 – Esquema do Ensaio do Limite de Liquidez	50
Figura 28 – Esquema do Ensaio do Limite de Plasticidade	50
Figura 29 – Materiais usados para o Ensaio	50
Figura 30 – Conjunto de Peneiras para Ensaio de Granulometria.....	53
Figura 31 – Tipo de Curva Granulométrica.....	53
Figura 32 – Sacos de 5kg com Amostra do Solo da Krahô e Xambioá	54
Figura 33 – Corpos de Prova Imersos na Água.....	54

Figura 34 – Curva de Compactação	55
Figura 35 – Prensa	55
Figura 36 – Curva Pressão - Penetração	56
Figura 37 - Aplicativo Moovit.....	57
Figura 38 – Representação Esquemática da Seção do Pavimento.....	59
Figura 39 – Trinca Interligada Tipo Couro de Jacaré e Desgaste	60
Figura 40 – Remendo	60
Figura 41 – Afundamento Plástico seguido de um Buraco	61
Figura 42 – Escorregamento do Revestimento.....	61
Figura 43 – Amostras do Ensaio de Limite de Liquidez nas Estações Xambioá e Krahô	62
Figura 44 – Amostras do Ensaio de Limite de Plasticidade nas Estações Xambioá e Krahô ..	63
Figura 45 – Corte Transversal dos Pavimentos Xambioá e Krahô.....	74
Figura 46 - Representação Detalhada dos Pavimentos.....	74

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Limites de Carga e Tipos Por Eixo.....	26
Tabela 2 – Escala Granulométrica Utilizada pelo SUCS	35
Tabela 3 – Sistema Unificado de Classificação de Solos.....	36
Tabela 4 – Classificação dos Solos por TRB	37
Tabela 5 – Relação entre a Classificação TRB e Unificada.....	39
Tabela 6 – Valores Prováveis de CBR para os Grupos de SUCS	39
Tabela 7 – Intervalos de Índice de Plasticidade	51
Tabela 8 – Intervalos de Índice de Consistência	51
Tabela 9 – Fatores de Equivalência de Carga do USACE	58
Tabela 10 - Fatores de Equivalência de Carga do AASHTO	58
Tabela 11 – Escolha do Material da Base	58
Tabela 12 – Determinar a Espessura Mínima do Revestimento Betuminoso	58
Tabela 13 – Coeficiente de Equivalência Estrutural	59
Tabela 14 - Tabelas de VMD em 10 Anos	68
Tabela 15 – Dados de Pesagens do Trecho	69
Tabela 16 - Resultados dos Fatores de Carga USACE.....	70
Tabela 17 - Resultados dos Fatores de Carga AASHTO	70
Tabela 18 - Determinação da Quantidade de Eixos	70
Tabela 19 - Resultados do FE das Estações Xambioá e Krahô.....	71
Tabela 20 - Resultados do FV das Estações com Método USACE.....	71
Tabela 21 - Resultados do FV das Estações com Método AASHTO	71
Tabela 22 - Resumo dos Ensaios Feitos	73
Tabela 23 - Resumo do Dimensionamento.....	73

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 - Ensaio de Limite de Liquidez das Estações Xambioá e Krahô.....	62
Gráfico 2 - Ensaio Granulométrico da Estação Xambioá.....	64
Gráfico 3 - Ensaio Granulométrico da Estação Krahô	64
Gráfico 4 - Ensaio de Compactação da Estação Xambioá	65
Gráfico 5 - Ensaio de Compactação da Estação Krahô	66
Gráfico 6 - Ensaio CBR da Estação Xambioá.....	67
Gráfico 7 - Ensaio CBR da Estação Krahô.....	67

LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula (1) – Raio de Área Circular	25
Fórmula (2) – Raio da Área Circular de Contato	25
Fórmula (3) – Pressão Aplicada no Subleito	26
Fórmula (4) – Índice de Plasticidade	51
Fórmula (5) – Índice de Consistência.....	51
Fórmula (6) – Determinar o Valor do CBR.....	56
Fórmula (7) – Determinar o Número “N”	57
Fórmula (8) – Determinar o Volume Médio Diário	57
Fórmula (9) – Determinar o Fator Veículo.....	57
Fórmula (10) – Determinar o Fator de Eixo.....	58
Fórmula (11) – Cálculo das Camadas	59
Fórmula (12) – Cálculo da Altura Total.....	59

SIGLAS E ABREVIATURAS

r	Raio da Área Circular
Q/2	Carga de Roda
SI	Sistema Internacional
q	Pressão de Contato
FSC	Fator de Segurança de Carga
r ₂	Raio da área Circular de Contato
m	Fator de Relação
ℓ	Distância entre as Faces Internas das Rodas
L	Distância entre os Centros das Rodas
Q	Carga por Eixo Simples
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
BGTC	Brita Graduada Tratada com Cimento
CBR	Califórnia Bearing Ratio
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
TS	Tratamento Superficial
NBR	Normas Brasileiras
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
LC	Limites de Consistência
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
IP	Índice de Plasticidade
IC	Índice de Consistência
VMD	Volume Médio Diário
P	Período do Projeto (Anos)
FV	Fator de Veículo
FC	Fator de Carga
FE	Fator de Eixo
SUCS	Sistema Unificado de Classificação de Solo
TRB	Transportation Research Board
HRB	Highway Research Board
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 OBJETIVOS	19
1.1.1 Objetivo Geral	19
1.1.2 Objetivos Específicos	19
1.2 JUSTIFICATIVA	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 SOLOS	21
2.1.1 Origem dos Solos	21
2.1.2 Forma dos Grãos, Coesão e Plasticidade	22
2.2 FUNDAMENTAÇÃO HISTÓRICA	22
2.3 PAVIMENTO ASFÁLTICO.....	23
2.3.1 Cargas	24
2.3.2 Pressões	25
2.3.3 Carga de Roda Equivalente	26
2.4 CAMADAS DO PAVIMENTO	27
2.4.1 Revestimento	27
2.4.2 Base	28
2.4.3 Sub-Base	28
2.4.4 Reforço do Subleito	29
2.4.5 Regularização do Subleito	29
2.4.6 Subleito	29
2.4 TIPOS DE PAVIMENTO	30
2.4.1 Flexível	30
2.4.1.1 Terminologia dos Revestimentos e Bases	30
2.4.1.2 Tratamentos Superficiais (TS).....	33
2.4.2 Rígido	34
2.4.2.1 Terminologia de Base e Revestimento	34
2.4.3 Semi Rígido	34
2.5 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	35
2.6 PATOLOGIAS	40
2.6.1 Remendos	40
2.6.2 Afundamento	40
2.6.2.1 Afundamento Plástico	40

2.6.2.2 Afundamento de Consolidação.....	40
2.6.3 Fissuras e Trincas	41
2.6.3.1 Trinca Transversal	41
2.6.3.2 Trinca Longitudinal	42
2.6.3.3 Trinca Interligada Tipo Couro de Jacaré	42
2.6.3.4 Trinca Interligada Tipo Bloco	42
2.6.4 Desgaste e Buraco/Panela	43
2.6.5 Ondulações, Escorregamento, Exsudação.....	44
3. METODOLOGIA.....	45
3.1 DESENHO DO ESTUDO	45
3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS VIAS	46
3.3 AVALIAÇÃO OBJETIVA DO PAVIMENTO	47
3.4 REALIZAÇÕES DOS ENSAIOS	47
3.4.1 Coleta do Material.....	47
3.4.2 Ensaio em Laboratório.....	48
3.4.2.1 Limites de Consistência (LC)	48
3.4.2.1.1 Limite de Liquidez (LL)	49
3.4.2.1.2 Limite de Plasticidade (LP)	50
3.4.2.2 Ensaio de Granulometria	51
3.4.2.2.1 Granulometria	52
3.4.2.2.2 Curva Granulométrica	53
3.4.2.3 Ensaio de Compactação ou Ensaio de Proctor Normal	54
3.4.2.4 Índice de Suporte Califórnia (California Bearing Ratio) – Ensaio de CBR.....	55
3.5 ESTUDO DE TRÁFEGO.....	56
3.5.1 Contagem do Tráfego.....	56
3.5.2 Cálculo do Número “N”	57
3.6 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO	59
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
4.1 INVESTIGAÇÃO DAS ANOMALIAS	60
4.2 ENSAIOS DO SUBLEITO DAS ESTAÇÕES XAMBIOÁ E KRAHÔ	62
4.2.1 Ensaio de Limite de Liquidez (LL)	62
4.2.2 Ensaio de Limite de Plasticidade (LP).....	63
4.2.2.1 Índice de Plasticidade (IP) e Índice de Consistência (IC)	63
4.2.3 Ensaio da Análise de Granulometria	64

4.2.4 Ensaio de Compactação ou Ensaio de Proctor Normal	65
4.2.5 Índice de Suporte Califórnia (California Bearing Ratio) - Ensaio de CBR.....	66
4.3 DIMENSIONAMENTOS DOS PAVIMENTOS DAS ESTAÇÕES XAMBIOÁ E KRAHÔ	67
4.3.1 Estudo de Tráfego para Determinação do Número “N”	67
4.3.2 Pavimento Flexível.....	72
4.3.3 Projeto dos Pavimentos	74
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
APÊNDICES	80
APÊNDICE A – TABELA DOS ENSAIOS LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE DAS ESTAÇÕES	81
APÊNDICE B – TABELA DE ANÁLISE GRANULOMETRICA DAS ESTAÇÕES.....	83
APÊNDICE C – TABELA DE ENSAIO DE COMPACTAÇÃO DAS ESTAÇÕES.....	85
APÊNDICE D – TABELA DE ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA DAS ESTAÇÕES.....	87
APÊNDICE E – TABELA DA CONTAGEM DE TRÁFEGO DAS ESTAÇÕES.....	89
ANEXOS	91
ANEXO A – ÁBACO PARA DETERMINAÇÃO DE ESPESSURAS DO PAVIMENTO ..	92
ANEXO B – DADO DE PESAGEM DO TRECHO COMPLETO.....	93

1 INTRODUÇÃO

Nas estações geralmente são apresentados problemas com frenagens e muitos veículos pesados, que remetem à retirada de conforto e segurança dos usuários que trafegam nos pontos Xambioá e Krahô, os quais apresentam um tráfego considerado alto em certos horários do dia, sendo localizados em uma das principais da cidade de Palmas-TO. Devido a isso, será visado o comportamento mecânico dos solos constituintes da camada do pavimento segundo as patologias encontradas e ensaios que serão feitos, para ocorrer à determinação do dimensionamento das camadas.

Para a tecnologia de pavimentação existem variados processos, materiais e outros tipos de estudos elaborados, porém esses itens são inevitáveis devido às cargas transmitidas à superfície pelos veículos. O que se deve fazer para evitar as patologias é um dimensionamento eficiente com o emprego de materiais adequados. Segundo Neto (2011), uma via pavimentada de forma correta apresenta a superfície regular e mais aderente aos pneus utilizados nos meios de transporte, proporcionando, assim, menores riscos quanto à perda de controle do veículo e garantindo a qualquer necessidade de frenagens ou desvios repentinos.

Destinado ao usuário, o estado da superfície do pavimento é o mais importante, pois os defeitos ou irregularidades nessa superfície são percebidos já que afetam o conforto (BERNUCCI, 2010). Desta forma, pode-se analisar que, para o usuário, as sub-bases ou subleitos, por exemplo, não são significantes, pois não são vistas pelos mesmos.

As alterações nos pavimentos asfálticos deterioram sua composição devido a inúmeros fatores como projetos ineficientes, execução inadequada iniciando ou não nas camadas de pavimentação, manutenção inadequada e a falta de recuperação quando necessário. De acordo com o que foi visto, os principais problemas encontrados foram fissuras no revestimento, desagregação (panelas), trilhar de rodas, remendos, desgaste, polimento dos agregados, deslocamento de ligantes, afundamento, ondulações e falta de drenagem.

O método do DNER para o dimensionamento de vias urbanas deve merecer maior atenção, inclusive com acompanhamento continuado para avaliar o comportamento das estruturas, visando adaptações que venham correlacionar, com mais efetividade, os resultados do cálculo com desempenho dos pavimentos (SENÇO, 2008).

Sendo assim, a capacidade do pavimento permitir a circulação segura e duradoura durante o seu tempo de vida útil está prejudicada devido às degradações inevitáveis vindas da ausência de projeto de terraplenagem e pavimentação, uso de materiais com baixa qualidade e em um dos casos o fraco sistema de drenagem durante as intempéries.

Portanto, fundamentam-se coletas e descrições de dados patológicos tanto da superfície como do subleito em campo para permitir identificar uma manutenção correta e eficiente ou a execução adequada de serviços de restauração das vias em frente às estações.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Apresentar uma análise do comportamento mecânico dos solos constituintes das camadas de acordo com seu dimensionamento, para caracterizar e melhorar o solo, conforme os dados fornecidos através de ensaios nas estações Xambioá e Krahô.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Investigação das anomalias – NORMA DNIT 005/2003 – Avaliação objetiva do pavimento para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Procedimento;
- Realização de ensaios – NBR 6459:2017 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez, NBR 7180:2016 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade, NBR 7181:2016 – Solo – Análise Granulométrica, NBR 7182:2016 – Solo – Ensaio de Compactação, NBR 9895:2017 – Solo – Índice de Suporte Califórnia – Método de Ensaio, Manual de Pavimentação – DNIT 2006 – Classificação dos Solos Pelos Métodos de SUCS e TRB;
- Estudo de tráfego para determinação do número “N”;
- Dimensionar as camadas de pavimentação das estações.

1.2 JUSTIFICATIVA

Todos os tipos de manifestações patológicas comprometem a durabilidade das estruturas, sendo que um erro pode significar um custo muito mais alto de execução, portanto, quanto antes for detectado o problema, menores serão estes custos para repará-lo (CERQUEIRA, 2008). Devido a isso, o trabalho é importante porque irão definir-se as patologias das regiões nas estações de ônibus, resultando no dimensionamento das camadas para identificar os problemas e adquirir resultados.

De acordo com as anomalias vistas nas estações existem vários problemas, dentre os quais, considerando o meio econômico, destaca-se a realização de vários reparos no mesmo local resultando em custos elevados, pois ao invés de primeiramente se fazer os asfaltos de qualidade que suporte as cargas adquiridas com o tempo são feitos com má qualidade devendo fazer-se reparações conforme necessário.

Em relação ao meio social pode-se observar que, devido aos buracos, panelas e outras manifestações, os veículos da população ficam prejudicados, havendo necessidade de se gastar mais dinheiro para arrumar os carros e/ou ônibus. Poderia ser evitado se houvesse uma conservação preventiva periódica em todas as estações.

Do exposto, verifica-se a importância da realização de estudos sobre o tema a partir de informações teóricas relacionadas com os ensaios, enriquecendo os conhecimentos e abrindo espaço para a interação entre teoria e prática.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SOLOS

2.1.1 Origem dos Solos

O solo é uma formação natural, de estrutura solta e removível e de espessura variável, resultante da transformação de uma rocha-mãe, pela influência de diversos processos físicos, físico-químicos e biológicos (SENÇO, 2008).

É caracterizado como um material da crosta terrestre, não consolidado, que ordinariamente se distingue das rochas, de cuja decomposição em geral provém, por serem suas partículas desagregáveis pela simples agitação dentro da água.

Geologicamente, define-se solo como o material resultante da decomposição das rochas pela ação de agentes de intemperismo. Já no meio rodoviário, considera-se solo todo tipo de material orgânico ou inorgânico, parcialmente cimentado, encontrado na superfície da terra.

Os solos podem ser divididos em três grupos de acordo com a Figura 1:

- Solos Residuais: produtos de rocha intemperizada permanecem ainda no local que resultou na transformação.
- Solos Transportados: depósitos de partículas que sofreram erosão e foram transportadas para outros locais.
- Solos Superficiais: produto da ação dos agentes naturais sobre os solos residuais e transportados.

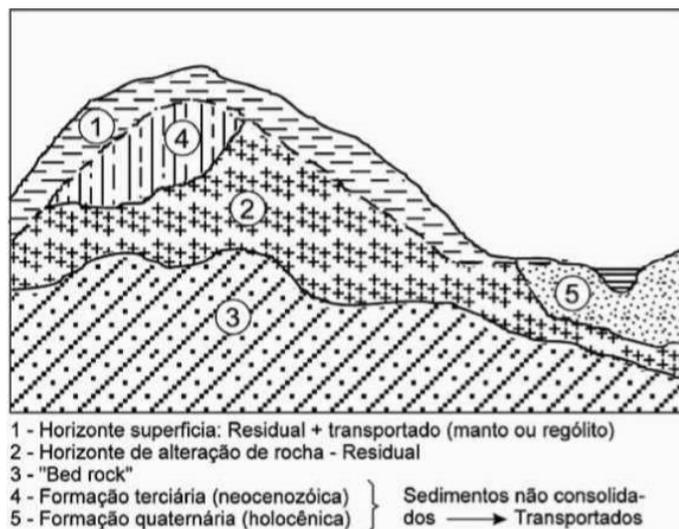


Figura 1 – Perfil Genérico do Solo

Fonte: Manual de Técnica de Pavimentação (Senço, 2008)

2.1.2 Forma dos Grãos, Coesão e Plasticidade

De acordo com Senço (2008), a terminologia de solos e rochas estabelece que seja identificada por sua textura, plasticidade, consistência ou compactidade, citando-se outras propriedades que auxiliam sua identificação, como: estrutura, forma dos grãos, cor, cheiro, friabilidade e presença de outros materiais.

A forma dos grãos e seu diâmetro dependem da natureza da rocha original e dos agentes geológicos que atuaram predominante na formação do solo (SENÇO, 2008). As frações mais grossas do solo são compostas por grãos angulares, arredondados ou menos achatadas, como os pedregulhos e areias. Solos como siltes e argilas, de modo geral, são angulares e escamosos (principalmente as argilas), praticamente sem grãos arredondados.

Segundo Vargas (1977), a coesão é aquela resistência que a fração argilosa empresta ao solo, pelo qual ele se torna capaz de se manter coeso em forma de torrões ou blocos, ou pode ser cortado em formas diversas e manter esta forma. Ou seja, é a ligação entre os grãos, no caso dos finos a água age por capilaridade (segundo o manual técnico de pavimentação a propriedade que os solos apresentam de poder absorver água por ação da tensão superficial, em oposição à força da gravidade) envolvendo as partículas pequenas.

Pode ser maior ou menor a capacidade dos solos de serem moldados, sem variação de volume e sob certas condições de umidade. Devido à forma lamelar dos grãos de argilas, pode ocorrer um deslocamento das partículas sem variação do volume. As propriedades dependem do teor de umidade, forma das partículas, granulométrica e composição química e mineralógica.

Um exemplo de material com alto índice de plasticidade são as argilas, pois obtém forma de lamelas, podendo deslizar umas sobre as outras sem alterar o volume de vazios. Diferem das areias, pois seus grãos têm forma arredondada. Em um experimento feito por Reynolds (1905), ele demonstrou que, mesmo se os grãos de areia não aumentarem de volume, a quantidade de água poderia dificultar a movimentação das partículas, por isso ela é classificada como um material não plástico.

2.2 FUNDAMENTAÇÃO HISTÓRICA

Na pré-história, com a busca de alimentação e água, procuravam deixar os caminhos entre sua moradia (caverna) e os campos de caça ou poços d'água em condições de permitir sua passagem mais adequada, atendendo então ao princípio fundamental do transporte: melhorar o caminho por onde deviam passar quando houvesse necessidade de deslocamento para certos pontos.

O início da evolução foi notado quando se utilizou animais para o transporte humano e de cargas, conseguindo maior rendimento nas viagens. Em seguida, atrelou-se um rústico veículo com rodas aos animais, melhorando as viagens e os caminhos. Até então, o homem era condicionado pelo meio ambiente e topografia do terreno por onde circulava. O alto número de cargas a serem transportadas, frequentemente em distâncias cada vez maiores, obrigou o homem a procurar exercer controle sobre o meio, alterando os caminhos, passando por povoados, conquistas territoriais, intercâmbios comerciais, culturais e religiosos, além da urbanização e desenvolvimento.

Nessas condições, à medida que o transporte demonstrou-se necessárias para a sobrevivência dos povos, as estradas precisaram ser transitáveis em qualquer época do ano. Para isso foi feito um leito carroçável (como chamavam pavimento) dando estabilidade inclusive nas épocas de chuvas. Iniciaram com a idéia básica simples de que poderiam utilizar a mistura de areias e argilas em proporções onde as argilas evitariam o aparecimento de poeira nos terrenos arenosos, nas secas, e as areias evitaria o aparecimento de lama nos terrenos argilosos. A intenção de melhorar cada vez mais a estabilização do pavimento levou à utilização de revestimentos com pedras, misturas betuminosas ou concreto de cimento, ou seja, a pavimentação segundo os conceitos atuais. Com o aumento da superestrutura e o desenvolvimento de novas técnicas, as cidades foram migrando dos antigos métodos de calçamento para a pavimentação flexível e rígida.

2.3 PAVIMENTO ASFÁLTICO

Segundo o Senço (2008), é a superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, como mostra a Figura 2, no qual os assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito (a infra-estrutura), a qual é chamada de subleito. Designadas a resistir diretamente às ações do tráfego (esforços verticais) e transmiti-las de forma atenuada às camadas inferiores, impermeabilizar o pavimento, melhorar os requisitos de segurança e conforto, além de suportar os esforços do desgaste tornando a superfície de rolamento mais durável.

É uma estrutura de camadas em que materiais de diferentes resistências e deformabilidades são colocados em contato resultando em um elevado grau de complexidade no que diz respeito ao cálculo de tensões, deformações e atuantes nas mesmas resultantes das cargas impostas pelo tráfego. Limitar as tensões e deformações na estrutura do pavimento, por meio da combinação de materiais e espessuras das camadas constituintes, é o objetivo da mecânica dos pavimentos.

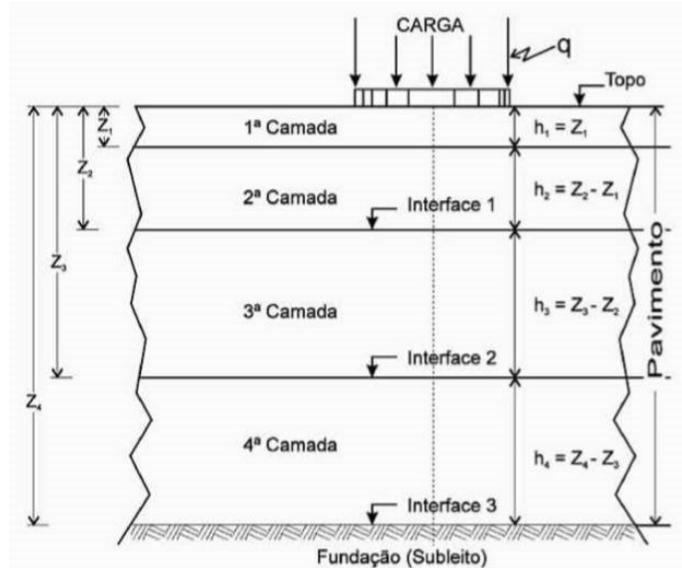


Figura 2 – Sistema de Várias Camadas

Fonte: Manual de Técnica de Pavimentação (Senço, 2008)

2.3.1 Cargas

São transmitidas por meio dos pneus dos veículos solicitando uma carga no pavimento. A pressão exercida tem aproximadamente uma distribuição parabólica e área de contato entre os pneus e o pavimento tem a forma próxima a uma elíptica. Com a transmissão das cargas feitas pelas rodas, as pressões a serem calculadas ou admitidas são referidas as cargas das rodas.

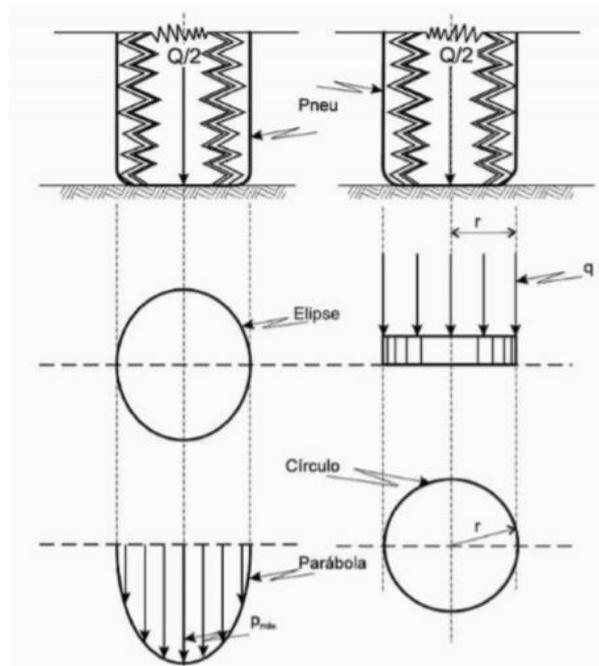


Figura 3 – Áreas de Contato Pneu x Pavimento

Fonte: Manual de Técnica de Pavimentação (Senço, 2008)

Visando o dimensionamento do pavimento, pode-se admitir uma carga aplicada gerando uma pressão de contato uniformemente distribuída numa área de contato circular, no

qual, ela é aproximadamente igual à pressão dos pneus. O raio da área circular (r) de contato pode ser calculado para qualquer carga, desde que se conheça a pressão aplicada. A carga da roda é caracterizada por $\frac{Q}{2}$ em kgf de acordo com o sistema internacional (SI) e q , é a pressão de contato dado em kgf/cm².

$$r = \sqrt{\left[\left(\frac{Q}{2}\right) \frac{1}{\pi q}\right]} \quad (1)$$

No caso do dimensionamento de pavimentos rígidos, os resultados das cargas são multiplicados pelo FSC (Fator de Segurança de Carga), substituindo de certa forma o coeficiente de impacto.

Para rodas com eixos simples de rodas duplas (ESRD), adota os raios das áreas de contato efetivas, no qual, r_2 é o raio da área circular de contato de roda dupla (área efetiva) e m é o fator relacionando r com r_2 .

$$r_2 = m \times \sqrt{\left[\left(\frac{Q}{2}\right) \frac{1}{2\pi q}\right]} \quad (2)$$

As cargas dos pneumáticos serão absorvidas variando quanto ao número de camadas, tipo e qualidade dos materiais constituintes dessas camadas, nas espessuras de cada uma e que são construídas entre a fundação e as cargas que utilizarão o pavimento (BOUSSINESQ, 1885)

A base do pavimento é construída para resistir e distribuir os esforços resultantes (direção vertical) das cargas do tráfego. O revestimento ou capa de rolamento deve resistir aos esforços horizontais vindas do contato direto dos pneus e a camada superficial. Esses esforços horizontais provocam o desgaste da superfície, razão pelo qual se faz o recapeamento em determinados períodos para reforçar ou substituir o revestimento.

2.3.2 Pressões

Deve-se considerar que as pressões agindo na interface entre o subleito e pavimento, sejam compatíveis com o quanto essa camada pode suportar sendo distribuídas aos esforços que agem com essas pressões.

Conforme a figura 4 é mostrada uma distribuição de pressões segundo o ângulo α , no qual q (pressão de contato) pode ser a pressão aplicada a uma profundidade igual a zero. Seguindo essa idéia, as pressões estão referidas às profundidades crescentes, chegando à interface entre o pavimento e o subleito.

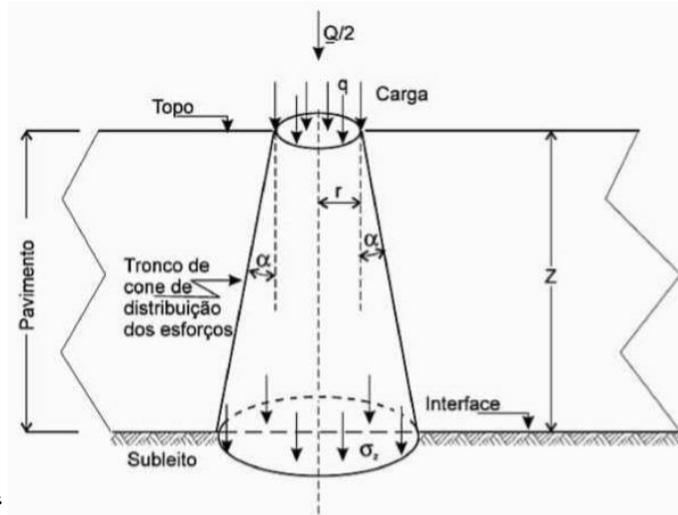


Figura 4 – Distribuição dos Esforços

Fonte: Manual de Técnica de Pavimentação (Senço, 2008)

Sendo assim, a pressão aplicada no subleito, nas condições impostas, é da ordem de um quinto da pressão de contatos no topo do pavimento.

$$\sigma_z = q \left\{ \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{z}{r}\right) \tan \alpha\right]^2} \right\} \quad (3)$$

2.3.3 Carga de Roda Equivalente

Nesse estudo, é inevitável o estabelecimento da correspondência, quer entre modelos de contatos diferentes, como a equivalência entre cargas diferentes transmitidas com sistemas semelhantes. Cargas de rodas (como é visto na Tabela 1 abaixo, no qual classifica todas as cargas de acordo com a norma e seu tipo de eixo) ou eixos próximos têm seus efeitos sobre os pavimentos superpostos, para que sejam consideradas isoladas, é necessária uma distância entre os eixos que evite essa sobreposição de feitos.

Tabela 1 – Limites de Carga e Tipos Por Eixo

Fonte: Manual de Técnica de Pavimentação (Senço, 2008)

Abreviatura	Descrição	Carga Máxima
ESRS	Eixo Simples com Rodas Simples	5tf
ESRD	Eixo Simples com Rodas Duplas	10tf
ETD	Eixo em Tandem Duplo	17tf
ETT	Eixo em Tandem Triplo	25,5tf

A Figura 5 a seguir é um exemplo de rodas duplas, de eixo simples, no qual, ℓ é a distância entre as faces internas das rodas; L seria a distância entre os centros das rodas; $\frac{Q}{2}$

carga da roda e Q é a carga por eixo simples. O triângulo ABC da imagem caracteriza a área de superposição dos efeitos pneumáticos.

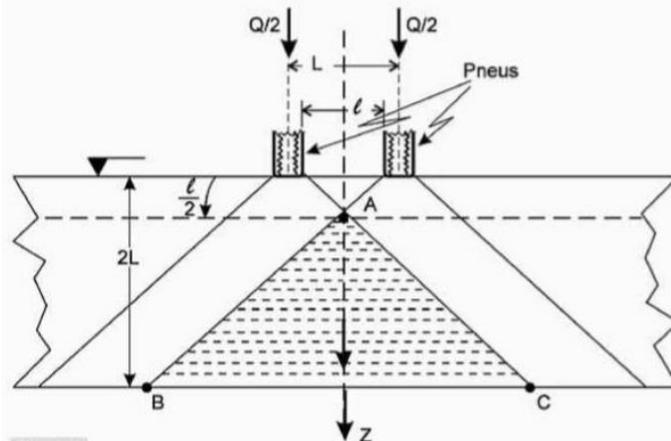


Figura 5 – Efeitos Superpostos

Fonte: Manual de Técnica Pavimentação (Senço, 2008)

Com a profundidade reduzida devido a pressão, as camadas superiores estão submetidas a pressões maiores, exigindo dessa forma materiais de melhor aderência. Pode-se mencionar que, para um subleito ruim e cargas pesadas resultaram em pavimentos espessos, já para um subleito de cargas leves e boa qualidade tendem a pavimentos sutis.

2.4 CAMADAS DO PAVIMENTO

Cada camada do pavimento possui inúmeras funções específicas, que devem proporcionar aos veículos as condições adequadas de suporte e rolamento em qualquer condição climática (BALBO, 2007). A figura 6 detalha algumas características do pavimento flexível que será detalhado nos tópicos a seguir.

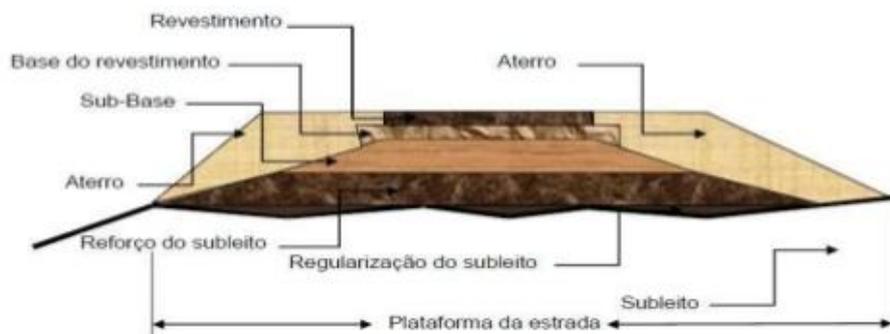


Figura 6 – Camadas do Pavimento Flexível

Fonte: Google (Adaptado)

2.4.1 Revestimento

Neto (2011) afirma que o revestimento é a camada mais nobre do pavimento, ou seja, a de maior custo para construção, bem com a camada de grande importância para o pavimento, haja vista que esta interage diretamente com o tráfego, sendo responsável pela

resposta direta aos esforços verticais e horizontais aplicados pelos veículos. Ainda ressalta que os materiais utilizados para a camada de revestimento do pavimento flexível devem estar conectados entre si evitando assim grandes deformações no revestimento e infiltração de água na estrutura o máximo possível.

O dimensionamento tem espessura adotada de acordo com o tráfego previsto, no qual, 3 a 5 cm para vias simples, duas faixas e duas mãos de direção; e 7,5 a 10 cm para autoestradas.

Em alguns casos os revestimentos asfálticos podem ser divididos em duas ou mais camadas por razões técnicas, de custo e construtivas. É comum encontrar expressões como camada de rolamento e camada de ligação para descrever o tipo de revestimento dividido em duas camadas diferentes de matérias.

A camada de rolamento é aquela superficial do pavimento, tendo contato direto com as cargas e com ações ambientais. E o binder (ou camada de ligação) é intermediário, também em mistura asfáltica, entre a camada de rolamento e a base do pavimento.

A massa para os revestimentos é geralmente preparada por misturas a quente, em usinas apropriadas (como concreto asfáltico) ou obtida em usinas de mistura a frio (como emulsões asfálticas).

2.4.2 Base

É a camada destinada a resistir e distribuir os esforços verticais oriundos das cargas dos veículos e sobre a qual é construído o revestimento, situado acima da sub-base, quando existente, ou diretamente sobre o subleito (SOUZA, 2004).

É constituída por materiais mais comumente utilizando produtos de britagem, misturas de solos e misturas de solos com materiais britados. Pode ser executadas por materiais tratados ou estabilizados com aglomerantes, como cimento Portland, betume, cal, cinzas volantes e misturas desses aglomerantes. Quando são utilizadas bases pozolânicas revestidas com capas asfálticas, deve-se considerar que pode ocorrer a propagação de trincas transversais no revestimento.

2.4.3 Sub-Base

É a camada construída sobre a base, com as mesmas funções desta, mas que por posição na estrutura já pode ter características inferiores às da base, pois recebe esforços menores (SOUZA, 2004). Suas outras principais funções são atuar na drenagem do pavimento, prevenir a intrusão ou bombeamento do solo do subleito na base e precaver o acúmulo de água livre no pavimento.

Seu material deve ser de melhor qualidade do que o solo do subleito ou reforço do subleito. Tem-se utilizado como material a brita graduada tratada com cimento (BGTC) com características de resistência maior que a camada de base granular. Pode utilizar o solo existente no subleito compactado, solo estabilizado, pedregulho, pedra britada e escória.

2.4.4 Reforço do Subleito

Sua função é servir como complemento à camada de sub-base, sendo assim, resistindo e distribuindo os esforços verticais, não tendo as características de absorver definitivamente esses esforços. É obtida por tratamentos aplicados à superfície com a finalidade de aumentar a resistência do subleito, através de compactações realizadas com a base no CBR.

A utilização do reforço é feita quando apresenta necessidade indicando um pavimento de elevada espessura vindo de um subleito de má qualidade, ou de um subleito de condições associadas a um tráfego intenso e pesado.

2.4.5 Regularização do Subleito

Construída sobre o subleito, espessura irregular, realizada após o término dos trabalhos de limpeza e movimento de terra onde será implantado o pavimento. Objetiva corrigir algumas falhas da superfície da terraplanagem.

A regularização deve dar à superfície as características geométricas do pavimento finalizado. Nos trechos em tangente, duas rampas opostas de 2% de inclinação, 3 a 4% em regiões de alta precipitação pluviométrica e nas curvas, uma rampa com inclinação da superelevação.

2.4.6 Subleito

Terreno de fundação onde será apoiado todo o pavimento, podendo ser forte ou pouco resistente, tendo que suportar os esforços impostos pelo pavimento e seus carregamentos dentro de valores compatíveis com a resistência do mesmo.

Se o CBR do subleito for menor que 2% ele deve ser substituído por um material melhor, até pelo menos um metro ($2\% \leq \text{CBR} \leq 20\%$). Se o CBR do material do subleito for maior que 20%, podem ser usados como sub-base. Esses valores são recorrentes a ensaios de laboratório, no qual é medida a resistência a penetração de um pistão numa amostra do solo do subleito, relacionando essa resistência com a oferecida por um material padrão, ao qual se atribui um CBR de 100%.

2.4 TIPOS DE PAVIMENTO

2.4.1 Flexível

Aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO – DNIT, 2006). Sendo assim, é uma estrutura composta por várias camadas que trabalham em conjunto absorvendo as solicitações impostas e transmitindo o restante às camadas inferiores.

Esse pavimento exige grandes espessuras devido ao uso de materiais deformáveis e aplicação de altas cargas ou até por causa do uso de materiais de qualidade duvidosa. Assim, tais espessuras garantem que a tensão no solo de fundação seja menor que a sua resistência (PINTO, 2003).

Ocorre uma baixa coesão entre as camadas e estas se deformam, formando uma depressão localizada de profundidade considerável. A Figura 7 mostra como as tensões do solo em contato com as cargas dos veículos ficam distribuídas.

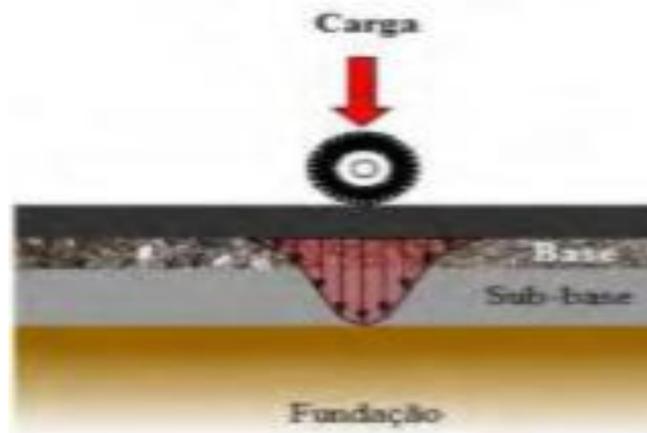


Figura 7 – Distribuição das Tensões no Pavimento Flexível

Fonte: Caracterização de Patologias em Pavimentos Rodoviários (Mestrado, 2012)

2.4.1.1 Terminologia dos Revestimentos e Bases

Devido ao grande número de materiais betuminosos para os revestimentos o seu uso pode ser resumido nos seguintes serviços:

- Pinturas Asfálticas de Imprimação: pintura realizada com o objetivo de conferir coesão à superfície da camada pela penetração do ligante aplicado, atribuir à camada granular certo grau de impermeabilização e promover condições de aderência entre a base e a camada asfáltica a ser sobreposta.
- Pinturas Asfálticas de Ligação: executada com a função básica de promover a aderência em relação à camada asfáltica a ser sobreposta. A pintura de ligação

pode ser aplicada em revestimentos antigos, previamente à execução de um recapeamento, ou mesmo de um tratamento de rejuvenescimento, sobre pinturas asfálticas aplicadas anteriormente e como elemento de ligação entre duas camadas asfálticas.

- **Pinturas Asfálticas de Cura:** aplicado sobre camadas tratadas com cimento Portland ou cal hidratada, recém executada, tendo função de evitar a perda acelerada de umidade e melhora a aderência entre a camada tratada e o revestimento asfáltico a ser sobreposto, promovendo adequadas condições para o desenvolvimento do processo de cura.
- **Macadame Betuminoso:** é o serviço por penetração que envolve aplicações alternadas de ligante betuminoso e agregados minerais, sendo necessária a aplicação de uma capa selante.
- **Concreto Asfáltico:** mistura asfáltica a quente executada em usina apropriada constituída de agregado mineral graduado e cimento asfáltico, espalhada e comprimida a quente. Sendo dividida em algumas designações:
 - a. **Camada de Rolamento:** camada superior da estrutura destinada a receber a ação do tráfego. Deve apresentar estabilidade e flexibilidade compatíveis com o funcionamento elástico da estrutura e condições de rugosidade que proporcionem segurança ao tráfego, mesmo sob condições climáticas e geométricas adversas;
 - b. **Camada de Ligação ou Binder:** camada abaixo da camada de rolamento, seu agregado tem diâmetro máximo, maior porcentagem de vazios e menor relação de betume/vazios;
 - c. **Camada de Regularização:** executado com massa asfáltica de graduação fina, com a função de corrigir deformações ocorrentes na superfície de um antigo revestimento, promovendo a selagem de fissuras existentes.
- **Pré – Misturado a Quente:** composta por cimento asfáltico e agregado mineral preponderantemente graúdo, cuja graduação confere à mistura elevada com porcentagem de vazios, sendo espalhada e comprimida a quente. É utilizada como camada intermediária, posicionada imediatamente abaixo de um revestimento do tipo concreto asfáltico. Usado para diversas aplicações como na camada de regularização em obras de restauração e corrigir deformações da

pista; camada de revestimento recebendo uma capa selante; e camada delgada aplicada sobre revestimentos para prevenção contra derrapagens.

- Lama Asfáltica: mistura resultante da associação com consistência fluida, de agregados ou misturas de agregados miúdos, material de enchimento, água e emulsão asfáltica. Sua consistência e a graduação dos agregados permitem que a mistura seja aplicada em espessuras delgadas. O serviço tem aplicação no rejuvenescimento de superfícies asfálticas desgastadas e impermeabilização de revestimentos fissurados.
- Capa Selante: executado por penetração invertida, envolvendo uma aplicação de ligante asfáltico e uma aplicação de agregado miúdo. Sua principal finalidade é melhorar as condições de impermeabilidade da camada a ser tratada, onde também influencia no macro – rugosidade dos revestimentos melhorando as condições de aderência dos veículos no caso de certos tratamentos superficiais.

Devido à importância estrutural da camada de base, são apresentadas as mais utilizadas:

- Base de Brita Graduada: pode ser definida como uma base resultante da mistura, em usina ou “in situ”, de um agregado previamente dosado granulometricamente, contendo inclusive material de enchimento e água.
- Base de Brita Corrida: é uma camada constituída por produtos resultantes da britagem primária de rocha sã, enquadrados numa condição granulométrica contínua.
- Base de Macadame Hidráulico: definida por compressão de agregado graúdo seguida do enchimento de seus vazios com agregado miúdo uniformemente distribuído, a princípio a seco e depois com ajuda de água. O tamanho do agregado pétreo principal tem no máximo 10 cm de diâmetro.
- Base de Macadame Betuminoso: consiste na superposição de camadas de agregados britados, interligados entre si por pinturas de material betuminoso.
- Base de Solo Estabilizado Granulometricamente: utilizam solos naturais, rochas alteradas ou ainda qualquer combinação desses materiais, de modo a oferecer, após umedecimento e compactação, boas condições de estabilidade.

- Base de Solo Cimento: definida como uma mistura de solo, água e cimento, em proporções convenientes e previamente determinadas, mistura uniformizada e compactada. Após o tempo de cura, apresenta boas condições de durabilidade.
- Base de Solo Arenoso Fino Laterítico: é uma base de solo que predomina a fração areia fina, com pequenas porcentagens de silte e argila.
- Base de Solo – Brita: pode ser dividido em dois tipos, arenoso – brita e argiloso – brita. A primeira é uma mistura de solo arenoso fino laterítico e brita corrida, e a segunda, solo com altos índices de argila misturado com brita corrida.

2.4.1.2 Tratamentos Superficiais (TS)

De acordo com o Senço (2008), consiste na aplicação de uma ou mais camadas de agregados ligadas por pinturas betuminosas. Quando a pintura corresponde a uma camada de agregado e é aplicada sobre essa camada, diz-se que o tratamento superficial é de penetração direta, porém, quando a pintura correspondente a uma camada de agregado é aplicada sob essa camada, diz respeito ao tratamento superficial é de penetração invertida. As granulometrias de cada tipo são caracterizadas conforme a Figura 8, no qual são divididos em quatro tipos:

- Tratamento Superficial Simples (TSS): uma camada de agregado e uma pintura de betume.
- Tratamento Superficial Duplo (TSD): duas camadas de agregados e duas pinturas de betume.
- Tratamento Superficial Tripla (TST): três camadas de agregados e três pinturas de betume, onde é considerada a aplicação mais utilizada.
- Tratamento Superficial Quádruplo (TSQ): quatro camadas de agregados e quatro pinturas de betume.

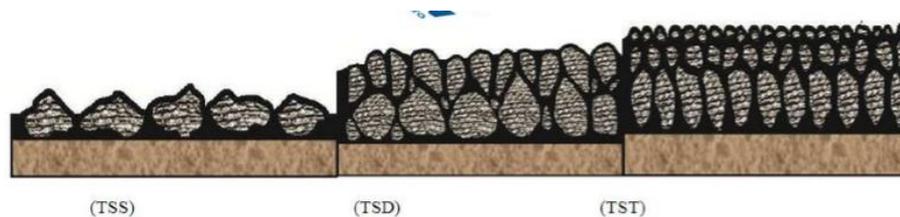


Figura 8 – Ilustração dos Três Tipos de Tratamento Superficial

Fonte: Caracterização de Patologias em Pavimentos Rodoviários (Mestrado, 2012)

2.4.2 Rígido

Aquele em que o revestimento tem umas elevadas rigidezes em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO – DNIT, 2006).

O dimensionamento do pavimento rígido é comandado pelo próprio pavimento. Suas tensões nos pavimentos rígidos em relação às cargas dos automóveis fazem com que sua dissipação ocorre de forma rápida, como demonstra a Figura 9.

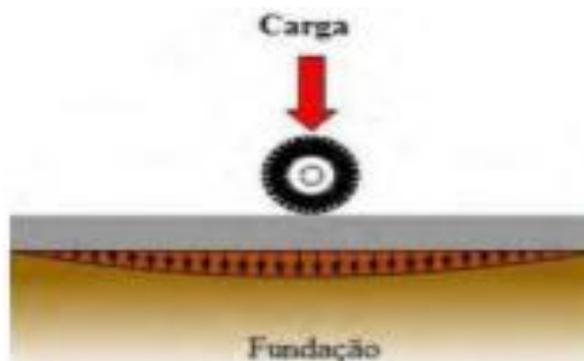


Figura 9 – Distribuição das Tensões no Pavimento Rígido

Fonte: Caracterização de Patologias em Pavimentos Rodoviários (Mestrado, 2012)

2.4.2.1 Terminologia de Base e Revestimento

- **Concreto de Cimento:** mistura dosada e uniformizada de agregados, areia, cimento e água nas dimensões conforme projeto. É a base que mais se caracteriza como rígida, podendo ser armada com barras metálicas. Exerce conjuntamente as funções de base e revestimento.
- **Macadame de Cimento:** construída com agregado graúdo, diâmetro máximo entre 50 mm e 90 mm, no qual, seus vazios são preenchidos por um material de granulometria mais fina, o material de enchimento, misturado com cimento, para garantir, além do travamento das pedras, uma razoável ligação entre elas.
- **Solo Cimento:** a mistura de solo escolhido, cimento e água, em proporções convenientes e previamente determinados, sendo uniformizadas e compactadas satisfazendo as condições exigidas para funcionar como base de pavimento.

2.4.3 Semi Rígido

Caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO – DNIT, 2006), ou seja, é uma situação intermediária dos dois tipos de pavimento, no qual a camada superior é constituída por materiais betuminosos e as camadas subjacentes normalmente são feitas por materiais ligantes hidráulicos, tendo o conjunto deformabilidade reduzida.

Segundo MEDINA (1997), perde-se o sentido a definição das camadas quanto às suas funções específicas e distintas umas das outras, à medida que se passou a analisar o pavimento como um sistema de camadas e a calcular as tensões e deformações. A partir daí começou-se a considerar a absorção dos esforços de tração pelas camadas de rigidez como o concreto asfáltico.

2.5 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

Depois dos ensaios feitos, os solos necessitam ser classificados de modo que possam gerar métodos de projeto de acordo com as propriedades de cada grupo. No caso, foram usados dois métodos, o de SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solo) que se baseia na identificação dos solos devido a sua qualidade de textura e plasticidade sendo agrupados devido a suas características.

As principais divisões desse método são os solos de granulação grossa com mais de 50% em peso retido na peneira de nº200, solo de granulação fina tendo mais 50% em peso passando na peneira 0,075mm e, por fim, solos altamente orgânicos.

É apresentada uma Tabela 2 com a terminologia básica para os componentes dos solos, no qual definem a escala granulométrica do tamanho limite das partículas.

Tabela 2 – Escala Granulométrica Utilizada pelo SUCS
Fonte: Manual de Pavimentação (DNIT, 2006)

Pedras	Acima de 3" (76mm)
Cascalho Grosso	Entre 3 e ¾" (76 e 19mm)
Cascalho Fino	Entre ¾" e a Peneira Nº4 (19 e 4,76mm)
Areia Grossa	Entre as Peneiras Nº4 e 10 (4,76 e 2mm)
Areia Média	Entre as Peneiras Nº 10 e 40 (2 e 0,43mm)
Areia Fina (Limo ou Mó)	Entre as Peneiras Nº 40 e 200 (0,42 e 0,075mm)
Finos (Silte e Argila)	Passando na Peneira Nº 200 (Menor que 0,075mm)

Para sua utilização foi usada a Tabela 3. Esse método foi utilizado por ter uma identificação em campo e de laboratório.

Tabela 3 – Sistema Unificado de Classificação de Solos

Fonte: Manual de Pavimentação (DNIT, 2006)

SOLOS DE GRADUAÇÃO GROSSA: mais de 50% retido na peneira nº 200	Pedregulhos: 50% ou mais da fração graúda retida na peneira nº 4	Pedregulho sem finos	GW	Pedregulhos bem graduados ou misturas de areia de ped.com pouco ou nenhum fino.
			GP	Pedregulhos mau graduados ou misturas de areia e ped.com pouco ou nenhum fino.
		Pedregulho com finos	GM	Pedregulhos siltosos ou misturas de ped.areia e silte.
			GC	Pedregulhos argilosos, ou mistura de ped.areia e argila.
	Areias: 50% ou mais da fração graúda passando na peneira nº 4	Areias sem finos	SW	Areias bem graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
			SP	Areias mau graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
Areias com finos		SM	Areias siltosas - Misturas de areia e silte.	
		SC	Areias argilosas - Misturas de areia e argila.	
SOLOS DE GRADUAÇÃO FINA: 50% ou mais passando pela peneira nº 200	SILTES e ARGILAS com LL ≤ 50	ML	Siltos inorgânicos - Areias muito finas - Areias finas siltosas e argilosas.	
		CL	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade - Argilas pedregulhosas, arenosas e siltosas.	
		OL	Siltos orgânicos - Argilas siltosas orgânicas de baixa plasticidade.	
	SILTES e ARGILAS com LL > 50	MH	Siltos - Areias finas ou siltes micáceos - Siltes elásticos.	
		CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade.	
		OH	Argilas orgânicas de alta e média plasticidade.	
	Solos Altamente Orgânicos		PT	Turfas e outros solos altamente orgânicos.

No sistema unificado são divididos em solos de graduação grossa, graduação fina e altamente orgânica. Onde a grossa, são os solos dos quais 50% ficam retidos na peneira 0,075mm, sendo representado por cascalhos (quando a maior fração fica retida nas peneiras de nº200 e nº4), areias e solos arenosos de acordo com as representações a seguir:

- Grupos GW e SW: solos bem graduados, com cascalho, arenosos e sem muitos finos. Se o solo tiver menos de 5% de finos com plasticidade, ele deverá ser submetido à identificação de laboratório;
- Grupos GP e SP: solos mal graduados contendo cascalho e areia, sem muitos finos. Esses materiais são classificados como macadames (cascalhos uniformes), areias uniformes ou misturas não-uniformes de material muito grosso e areia muito fina;
- Grupos GM e SM: cascalhos ou areias com maior quantidade de finos, com mais de 12% passando na peneira nº200. A resistência desses materiais secos decorre de pequena quantidade de solo aglutinante. A fração fina pode ser de pó-de-pedra ou silte quase sem plasticidade e não tem resistência;
- Grupos GC e SC: solos com cascalho ou arenosos, com finos, cuja plasticidade pode ser alta ou baixa. A plasticidade da fração aglomerante influi mais no comportamento do solo do que sua composição granulométrica. Os finos são argilosos.

Já o solo de granulometria fina, apresenta menos de 50% retido na peneira de 0,075mm apresentando algumas subdivisões:

- Grupos ML e MH: são solos siltes arenosos ou argilosos sem matéria orgânica e com plasticidade relativamente baixa;

- Grupos CL e CH: são argilas sem matéria orgânica. As de plasticidade baixa são em geral arenosas ou siltosas e com plasticidade alta ou média incluem argilas gordas, gumbos, algumas argilas vulcânicas, entre outros;
- Grupos OL e OH: caracterizados pela presença de matéria orgânica, siltes e as argilas orgânicas fazem parte desses grupos e sua plasticidade é relativamente baixa.

De forma geral, os solos altamente orgânicos (Grupo Pt) são identificados de forma visual e não apresentam divisões. Apresentam características inadequadas para construção.

O outro método é conhecido como TRB (Transportation Research Board) ou antigo HRB (Highway Research Board), consiste em considerar a granulometria e limite de consistência. Determina-se o grupo por eliminação da esquerda para direita, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação dos Solos por TRB
Fonte: Manual de Pavimentação (DNIT, 2006)

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira N° 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	30 máx.	51 min.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira N° 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia		Pedregulho ou areias siltosas ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos		
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

* O IP do grupo A - 7 - 5 é igual ou menor do que o LL menos 30.

A seguir, serão apresentadas as características de cada classificação por grupos e subgrupos de acordo com o Manual de Pavimentação (DNIT):

- Grupo A-1: constituído de mistura bem graduada de fragmentos de pedra ou pedregulhos, areia grossa, areia fina e um aglutinante de solo não plástico ou fracamente plástico;

- a) Subgrupo A-1-a: inclui materiais contendo fragmentos de pedra ou pedregulho, com ou sem material fino bem graduado, funcionando como aglutinante;
- b) Subgrupo A-1-b: inclui materiais constituídos de areia grossa com ou sem aglutinante de solo bem graduado.
- Grupo A-2: apresenta grande variedade de materiais que se situam entre os grupos A-1 e A-3 e entre os materiais constituídos de silte e argila dos grupos A-4, A-5, A-6 e A-7. Inclui os solos com 35% ou menos que passam na peneira de 0,075mm (nº200), mas que não podem ser classificados como A-1 e A-3, devido ao teor de finos ou plasticidade;
 - a) Subgrupos A-2-4 e A-2-5: solos com 35% ou menos passando pela peneiras de nº200, com porção menor retida na peneira nº40 possuindo características dos grupos A-4 ou A-5. Abrange materiais como pedregulho e areia grossa;
 - b) Subgrupos A-2-6 e A-2-7: solos compatíveis com os subgrupos acima com exceção da porção de finos que contém argila plástica com características dos grupos A-6 e A-7.
- Grupo A-3: composto por areia fina de praia ou deserto, sem silte ou argila, podendo possuir também pequena quantidade de silte plástico. Inclui areia fina mal graduada e quantidades limitadas de areia grossa e pedregulho depositado pelas correntes.
- Grupo A-4: solo típico do grupo é siltoso não plástico ou plástico moderado, possuindo 5% ou mais passando na peneira de 0,075mm e pode ser solo fino siltoso com até 64% de areia e pedregulho retidos na mesma numeração de peneira;
- Grupo A-5: semelhante ao grupo acima, com exceção de ser altamente elástico conforme indica seu elevado limite de liquidez;
- Grupo A-6: solos argilosos, plásticos, tendo geralmente 75% ou mais de material passando na peneira nº200. Inclui misturas de solos finos argilosos, podendo conter até 64% de areia e pedregulho retidos na peneira. Sofrem elevadas mudanças de volume entre os estados seco e úmido;

- Grupo A-7: semelhante ao grupo A-6, com diferença que possui características de alto limite de liquidez do grupo A-5, podendo ser elástico e estar sujeito a elevada mudança de volume.

Na Tabela 5 foi mostrada a relação entre os dois métodos, SUCS e TRB, enquanto na Tabela 6 aparecem faixas de valores mais comuns de CBR.

Tabela 5 – Relação entre a Classificação TRB e Unificada
Fonte: Manual de Pavimentação (DNIT, 2006)

Classificação TRB	Classificação Unificada		
	Mais Provável	Possível	Possível, Mas Improvável
A-1-a	GW-GP	SW-SP	GM-SM
A-1-b	SW-SP-GM-SM	GP	-
A-3	SP	-	SW-GP
A-2-4	GM-SM	GC-SC	GW-GP-SW-SP
A-2-5	GM-SM	-	GW-GP-SW-SP
A-2-6	GC-SC	GM-SM	GW-GP-SW-SP
A-2-7	GM-GC-SM-SC	-	GW-GP-SW-SP
A-4	ML-OL	CL-SM-SC	GM-GC
A-5	OH-MH-ML-OL	-	SM-GM
A-6	CL	ML-OL-SC	GC-SM-GC-SC
A-7-5	OH-MH	ML-OL-CH	GM-SM-GC-SC
A-7-6	CH-CL	ML-OL-SC	OH-MH-GC-GM-SM

Tabela 6 – Valores Prováveis de CBR para os Grupos de SUCS
Fonte: Manual de Pavimentação (DNIT, 2006)

Solos	CBR
GW	40 a mais de 80
GP	30 a mais de 60
GM	20 a mais de 60
GC e SW	20 a 40
SP e SM	10 a 40
SC	5 a 20
ML,CL,CH	15 a menos de 2
MH	10 a menos de 2
OL, OH	5 a menos de 2

2.6 PATOLOGIAS

2.6.1 Remendos

Conjunto de operações destinadas a corrigir manifestações de ruína específica ocorrentes em nível de revestimento betuminoso e em alguns casos extremos, atingindo frações de camada de base, tais operações são bem definidas e de pequena extensão.

Sendo divididos em remendo profundo, no qual substitui o revestimento com inúmeras camadas inferiores do pavimento, apresentando forma retangular; e remendo superficial, onde corrige a área do revestimento pela aplicação de uma camada betuminosa.

2.6.2 Afundamento

2.6.2.1 Afundamento Plástico

Causado pela influência plástica de uma ou mais camadas do subleito ou pavimento, tendo dificuldade de ficar erguido (solevamento). Ocorrendo em até 6 m de extensão é denominado afundamento plástico local, porém, sendo superior e com trilha de roda é definido afundamento plástico da trilha de roda como na Figura 10.



Figura 10 – Afundamento de Trilha de Roda
Fonte: DNIT 005/2003

2.6.2.2 Afundamento de Consolidação

Gerado pela solidificação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito sem acompanhamento de solevamento. Tendo extensão até 6 m é afundamento de consolidação local, como demonstrado na Figura 11 e sendo superior a 6 m e obtendo trilha de roda ao longo do trajeto é denominado afundamento de consolidação da trilha de roda.



Figura 11 – Afundamento Local
Fonte: DNIT 005/2003

2.6.3 Fissuras e Trincas

As fissuras não causam problemas estruturais com posição longitudinal, oblíqua ao eixo da via ou transversal, apresentando largura capilar existente na superfície e perceptível apenas a olho nu com uma distância inferior a 1,50 m. Trincas são facilmente visíveis, existentes nos revestimentos, podendo apresentar-se sob algumas formas destacadas nos tópicos abaixo.

2.6.3.1 Trinca Transversal

Como mostra na Figura 12, é uma trinca com direção predominantemente perpendicular ao eixo da via, sendo isolada, apresenta extensão de até 100 cm podendo ser considerada como curta e superior caracterizada como uma trinca transversal longa.



Figura 12 – Trinca Transversal
Fonte: DNIT 005/2003

2.6.3.2 Trinca Longitudinal

Segundo a Figura 13, é uma trinca isolada, apresentando direção predominantemente paralela ao eixo da via, sua classificação segue a mesma ideia das trincas transversais.



Figura 13 – Trinca Longitudinal
Fonte: DNIT 005/2003

2.6.3.3 Trinca Interligada Tipo Couro de Jacaré

É associada sem direções preferenciais, equivalente ao aspecto de couro de jacaré, apresentando ou não erosão acentuada nas bordas, demonstrado na Figura 14.



Figura 14 – Trinca Interligada Tipo Couro de Jacaré
Fonte: DNIT 005/2003

2.6.3.4 Trinca Interligada Tipo Bloco

Apresenta forma de blocos (Figura 15) determinados por lados bem definidos e apresentando ou não erosão acentuada nas bordas.



Figura 15 – Trinca Interligada Tipo Bloco
Fonte: DNIT 005/2003

2.6.4 Desgaste e Buraco/Panela

Os desgastes (Figura 16) são efeitos da retirada progressiva do agregado no pavimento, designado pela aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais gerados pelo tráfego.



Figura 16 – Desgaste
Fonte: DNIT 005/2003

Buracos são caracterizados pelas cavidades que se formam no revestimento por vários motivos, como pela falta de aderência entre camadas superpostas provocando o deslocamento das camadas e alcançando as camadas inferiores, e ainda gerando a desagregação dessas camadas, como é mostrado na Figura 17.



Figura 17 – Buraco/Panela
Fonte: DNIT 005/2003

2.6.5 Ondulações, Escorregamento, Exsudação

As ondulações são identificadas pelas deformações na superfície do pavimento que são distantes até 3 m, gerados por fatores como abundância de asfalto ou perda da resistência da massa asfáltica na superfície, como demonstra na Figura 18.



Figura 18 – Ondulação
Fonte: DNIT 005/2003

O escorregamento (Figura 19) é o deslocamento do revestimento em relação à camada subentendida do pavimento, tendo surgimento de fendas em forma de meia-lua.



Figura 19 – Escorregamento
Fonte: DNIT 005/2003

Exsudação (Figura 20) é determinada pela exorbitância de ligante betuminoso na superfície do pavimento, acarretado pela migração do ligante através do revestimento.



Figura 20 – Exsudação
Fonte: DNIT 005/2003

3. METODOLOGIA

3.1 DESENHO DO ESTUDO

O estudo tem o intuito de definir opções de manutenção para o pavimento flexível, para isso foram feitos alguns ensaios para facilitar na elaboração de diagnósticos, obtendo resultados e opções para o pavimento. Como foram elaborados ensaios do solo das estações, com variadas amostras, resultados diferentes e pela análise que será feita na conclusão dos ensaios é considerado um estudo quantitativo e qualitativo.

Foi realizado em Palmas – TO, em uma das avenidas principais, chamada de Avenida Joaquim Teotônio Segurado em duas estações da região. As coordenadas geográficas da estação Krahô (Figura 21) são: Latitude: -10.26° (UTM 8865028.68m S) e Longitude: -48.33°

(UTM 792118.46m E) e as coordenadas geográficas da estação Xambioá (Figura 22) são: Latitude: -10.22° (UTM 8869059.15m S) e Longitude: -48.33° (UTM 792121.64m E).

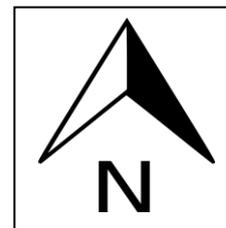


Figura 21 – Localização da Estação Krahô

Fonte: Google Earth (Adaptado)

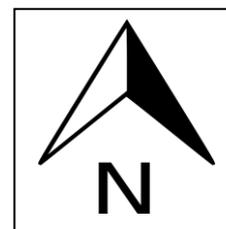


Figura 22 – Localização da Estação Xambioá

Fonte: Google Earth (Adaptado)

3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS VIAS

O revestimento da avenida é de CBUQ (concreto betuminoso usinado a quente). Sua largura mínima de 14 m, com quatro faixas sendo uma delas mais utilizadas por ônibus locais, de outras regiões e vans.

De acordo com Neves (2002) podem ser determinados dois tipos de transporte de passageiros em relação a ônibus. Para ele, existe o tribus, que é comparado com o caminhão 3C, tendo três eixos e oito pneus; e o ônibus urbano e de viagem, similar ao caminhão 2C, com dois eixos e seis pneus, sendo este utilizado em Palmas. Devido às cargas e frenagens dos ônibus são apresentadas algumas patologias, como a Figura 23, sendo uma na estação Krahô e a outra na Xambioá.



Figura 23 – Patologias das Estações Krahô e Xambioá
Fonte: Acervo Pessoal (2019)

3.3 AVALIAÇÃO OBJETIVA DO PAVIMENTO

No primeiro objetivo específico, foram definidas as anomalias da via, onde se caracterizou de acordo com as imagens tiradas das estações devido a suas patologias. Foram detalhados o tipo e o motivo de estarem daquela forma, assim como apresentada opção para melhorar aquele pavimento e fazer com que alcance a vida útil.

Em seguida, com a retirada das amostras do solo foram feitos os ensaios como determinação dos limites de liquidez e plasticidade, análise granulométrica, compactação e índice de suporte Califórnia para que obtenham-se resultados positivos e negativos e comprove-se o erro daquele pavimento, encontrando assim formas para o melhoramento deste.

Foi elaborado também um estudo de tráfego para a determinação do número “N” da avenida, no qual, foi determinada uma previsão da evolução do tráfego, com avaliação do poder destrutivo, níveis de carga em diferentes níveis de repetição e excesso de carga. Finalizando, foram dimensionadas as camadas de pavimentação das estações, alterando o necessário para compor uma estrutura e materiais adequados.

3.4 REALIZAÇÕES DOS ENSAIOS

3.4.1 Coleta do Material

Os materiais foram coletados ao lado das estações, pois não houve a autorização da secretaria de infraestrutura do município, no qual o material retirado foi da camada de subleito. O material foi realizado de acordo com o estudo geotécnico de pavimentação, onde

foram reconhecidos os solos visando à caracterização das diversas camadas e o posterior traçado dos perfis dos solos para efeito do projeto de pavimento.

Para identificar as camadas do solo, foram realizadas as sondagens no eixo e nos bordos das estações, utilizando uma cavadeira e uma pá. Houve a necessidade de um furo em cada estação, com profundidade de até 1,00m e aproximadamente 25kg do material colocados em sacos plásticos resistentes. Por fim, as amostras colhidas foram levadas para o laboratório da faculdade, passadas pela peneira de 4,8mm, separando o material grosso do fino em sacos (Figura 24), para então serem feitos os ensaios pertinentes e a análise dos resultados.



Figura 24 – Materiais Separados na Peneira 4,8mm
Fonte: Acervo Pessoal (2019)

3.4.2 Ensaio em Laboratório

3.4.2.1 Limites de Consistência (LC)

Esses limites permitem avaliar a plasticidade dos solos. Quando a umidade de um solo é muito grande, ele apresenta como um fluido denso e se diz no estado líquido. A seguir, à medida que se evapora a água, ele endurece, passando do estado líquido para o estado plástico.

A umidade correspondente ao limite entre os estados líquidos e plásticos é denominada limite de liquidez. Ao continuar a perda de umidade, o estado plástico desaparece, passando o solo para o estado semissólido. Neste ponto, a amostra de solo se desagrega ao ser trabalhado. A umidade correspondente ao limite entre os estados plásticos e semissólido é denominada limite plasticidade, Figura 25.

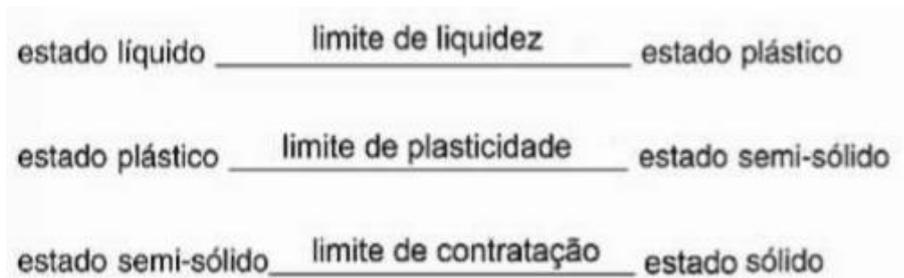


Figura 25 – Esquema dos Estados do Limite de Consistência
 Fonte: Manual de Técnicas de Pavimentação (2008)

3.4.2.1.1 Limite de Liquidez (LL)

Para a determinação desse limite, Atterberg baseou-se em colocar o material em uma cápsula de porcelana, adicionando água destilada em pequenas quantidades até deixar uma consistência homogênea. Em seguida é colocado no aparelho CasaGrande (Figura 26), moldando o material com uma espátula, logo após passar o cinzel de maneira a abrir uma ranhura em sua parte central. Dessa forma, a ABNT NBR 6459:2007 determina que se deva aplicar no mínimo 25 golpes e verificar se o material irá fechar em maior ou menor intervalo de tempo.



Figura 26 – Aparelho CasaGrande
 Fonte: Acervo Pessoal (2019)

Em seguida, conforme demonstrado na Figura 27 é retirado o pouco da amostra onde ambos os lados se uniram. Foram pesados o conjunto da cápsula metálica juntamente com o solo, levando para uma estufa, funcionando para determinar a umidade do material. Depois de todo esse procedimento, repetiu-se a operação em mais quatro amostras com adição de água em gradatividade crescente.

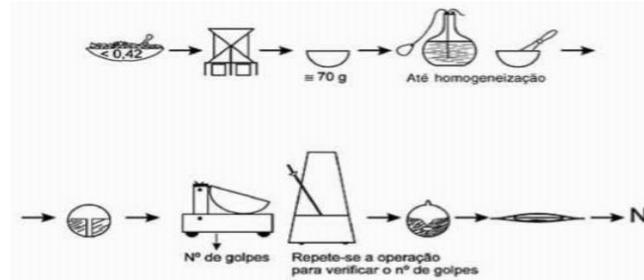


Figura 27 – Esquema do Ensaio do Limite de Liquidez
Fonte: Manual de Pavimentação (DNIT, 2006)

3.4.2.1.2 Limite de Plasticidade (LP)

Para o ensaio segue a ABNT NBR 7180:2016 com a representação da Figura 28, preparando na cápsula de porcelana e adicionando água até atingir um ponto homogêneo.

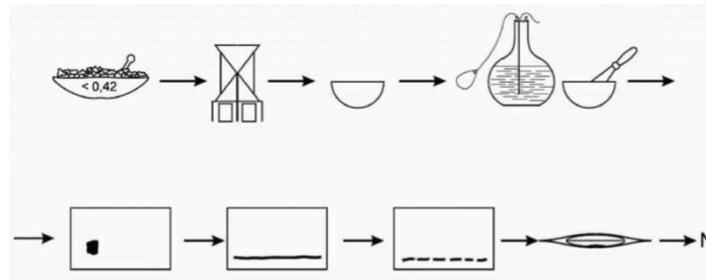


Figura 28 – Esquema do Ensaio do Limite de Plasticidade
Fonte: Manual de Pavimentação (DNIT, 2006)

Em seguida, foi usada uma placa de vidro com um dos lados fosco formando uma amostra cilíndrica com aproximadamente 3 mm de diâmetro e 10cm de comprimento (Figura 29). Se a amostra atingir o diâmetro determinado pela norma sem se fragmentar, deve repetir o procedimento novamente. Porém, se o cilindro se fragmentar, é feita a transferência para um recipiente adequado, para determinar a umidade, sendo feito em cinco amostras.



Figura 29 – Materiais usados para o Ensaio
Fonte: Acervo Pessoal (2019)

Para achar o valor da diferença entre os limites é utilizado a Fórmula 4, caracterizada por IP (Índice de Plasticidade), no qual, quanto mais alto, maior a plasticidade do solo tendo alguns intervalos para determinar o tipo de solo (Tabela 7).

$$IP = LL - LP \quad (4)$$

Tabela 7 – Intervalos de Índice de Plasticidade
Fonte: ABNT NBR 7180:2016

Índice de Plasticidade	Classificação do Solo
IP = 0	Não Plástico
1 < IP < 7	Pouco Plástico
7 < IP < 15	Plasticidade Média
IP > 15	Muito Plástico

A consistência de um solo em seu estado natural é definida pelo Índice de Consistência (IC), caracterizado na Fórmula 8 a seguir, no qual a umidade natural do solo é representada por h . Como o caso acima, esse índice também apresenta uma Tabela 3 para apresentar a classificação do solo.

$$IC = \frac{(LL-h)}{IP} \quad (5)$$

Tabela 8 – Intervalos de Índice de Consistência
Fonte: ABNT NBR 7180:2016

Índice de Consistência	Classificação do Solo
IC < 0	Muito Mole
0 < IC < 0,5	Plástica Mole
0,5 < IC < 0,75	Plástica Média
0,75 < IC < 1,0	Plástica Rígida
IC > 1,0	Consistência Dura

3.4.2.2 Ensaio de Granulometria

Os materiais graúdos podem ter uma classificação conforme as aberturas das peneiras, porém os materiais finos exigem o auxílio da água para passar pelas aberturas em alguns casos e, finalmente, os siltes e argilas exigem processos indiretos, como a sedimentação.

O DNIT adota as seguintes escalas granulométricas, considerando as seguintes frações de solo:

- Pedregulho: é a fração do solo que passa na peneira de 3” e é retida na peneira de 2,0mm.

- Areia: é a fração do solo que passa na peneira de 2,0mm e é retida na peneira de 0,075mm.
- Areia Grossa: é a fração compreendida entre as peneiras de 2,0mm e 0,42mm.
- Areia Fina: é a fração compreendida entre as peneiras de 0,42mm e 0,075mm.
- Silte: é a fração com tamanho de grãos entre a peneira de 0,075mm e 0,005mm.
- Argila: é a fração com tamanho de grãos abaixo de 0,005mm.

Pelo Senço (2008) devem-se levar em consideração, as propriedades dos solos, além da distribuição granulométrica. Sob esse aspecto, empregam-se as seguintes denominações:

- Areias e Pedregulhos: solos de comportamento arenoso variando com a quantidade de água que envolve os grãos, com granulação grossa, grãos de formas cúbicas ou arredondadas. São praticamente desprovidos de coesão, onde sua resistência à deformação depende fundamentalmente de entrosamento e atrito entre os grãos e da pressão normal que atua sobre o solo;
- Siltes: solos intermediários, dependendo da distribuição granulométrica, forma e composição mineralógica. Seu comportamento tende para arenoso ou para o argiloso.
- Argilas: solos de granulação fina, com grãos de formas lamelares, alongadas e tubulares, cuja constituição principal é de minerais argílicos. Seu comportamento varia sensivelmente com a quantidade de água que envolve tais grãos, apresenta então, características marcantes de plasticidade, permitindo a mudança de forma sem variação de volume. Sua coesão está relacionada com o teor de umidade, onde quanto mais secas, maior a coesão.

Segundo a NBR 7181:1988 – Análise Granulométrica é distinguida em duas opções, a peneiração (granulometria) e sedimentação.

3.4.2.2.1 Granulometria

Para esse ensaio, foi utilizada a peneira de nº200 retirando o material fino de baixo da água, mexendo com as mãos até não existir o elemento indesejado. Em seguida foi colocado na estufa e no dia seguinte extraído, sendo finalizado por um conjunto de peneiras (Figura 30) passando o material em forma de vibração manual até que os grãos encontrassem a melhor posição para passar pelas aberturas. Conforme o acúmulo de grãos nas peneiras foi pesado às massas acumuladas para determinação da porcentagem e elaboração do gráfico.



Figura 30 – Conjunto de Peneiras para Ensaio de Granulometria
Fonte: Acervo Pessoal (2019)

3.4.2.2.2 Curva Granulométrica

Pode apresentar variadas formas, identificando prováveis aplicações, comportamento das camadas construídas e misturas com aglutinantes. Segundo o Manual de Técnicas de Pavimentação, elaborado por Senço (2008), as curvas granulométricas são divididas em quatro conforme a Figura 31:

- Curva A: granulometria contínua aberta, o material apresenta frações graúdas até finas;
- Curva B: granulometria descontínua, não apresenta frações;
- Curva C: granulometria uniforme pode haver uma determinada fração, identificada pela verticalidade da curva;
- Curva D: granulometria contínua densa, fração contínua com porcentagem de finos, no qual, preenche os vazios e aumenta a densidade do agregado.

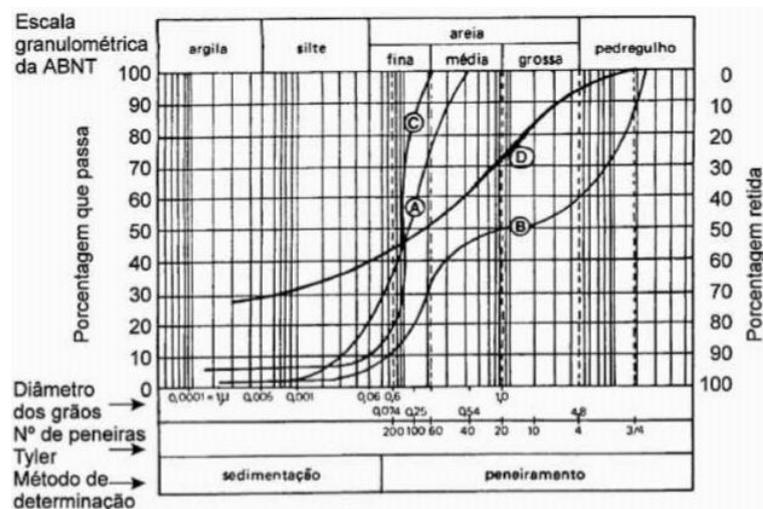


Figura 31 – Tipo de Curva Granulométrica
Fonte: Manual de Técnicas de Pavimentação (SENÇO, 2008)

3.4.2.3 Ensaio de Compactação ou Ensaio de Proctor Normal

O ensaio foi criado por Ralph R. Proctor, em 1933, sendo baseado em duas normas NBR 7182:2016 e DNER –ME 129/94.

Este consiste em compactar o material no molde, em cinco camadas, de modo a obter uma altura total de solo. Cada camada de subleito recebeu 26 golpes. Em seguida, com o material separado em sacos de 5kg (Figura 32) e de acordo com os teores crescente de umidade do ensaio do limite de liquidez foi adicionado água em uma bandeja para então a amostra ser colocada na altura exata do molde com ajuda de uma espátula.



Figura 32 – Sacos de 5kg com Amostra do Solo da Krahô e Xambioá
Fonte: Acervo Pessoal (2019)

Após seguiu-se a ideia da norma, em que, foi usada a energia do Proctor Normal os golpes em cada camada adicionada para então serem pesados e anotados os resultados na tabela. Repetiu-se esse procedimento com mais cinco amostras e por fim foram colocadas as amostras imersas dentro d'água durante quatro dias (Figura 33).



Figura 33 – Corpos de Prova Imersos na Água
Fonte: Acervo Pessoal (2019)

O material que sobrou na bandeja foi colocado em cápsulas metálicas e em seguida na estufa. Foi finalizado na curva para conseguir corresponder à massa específica seca máxima e umidade ótima, localizado no ponto mais alto, como demonstrado na Figura 34.

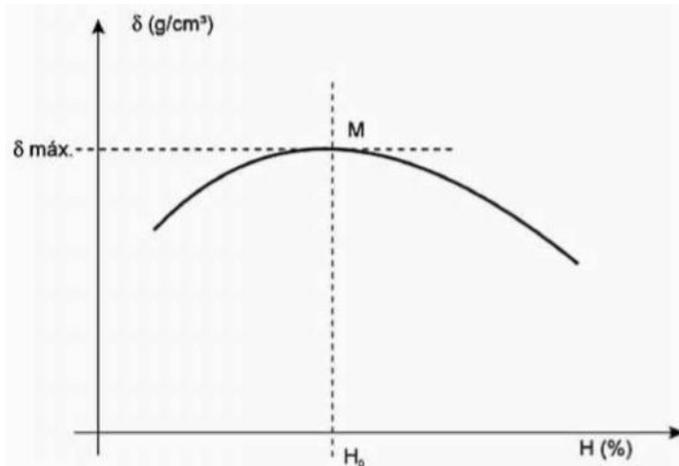


Figura 34 – Curva de Compactação

Fonte: Manual de Técnica de Pavimentação (SENÇO, 2008)

3.4.2.4 Índice de Suporte Califórnia (California Bearing Ratio) – Ensaio de CBR

De acordo com o DNER – ME 049/94, este ensaio determina a relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo de prova de solo, e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa brita padronizada.

Depois das amostras estarem há quatro dias imersas na água, foram colocadas na prensa (Figura 35), para colher os resultados e traçar a curva de pressão – penetração.



Figura 35 – Prensa

Fonte: Acervo Pessoal (2019)

Se existir um ponto de inflexão, traça uma tangente na curva até a intercepção no eixo das abscissas, com a curva corrigida será a tangente mais a porção convexa da curva original (Figura 36).

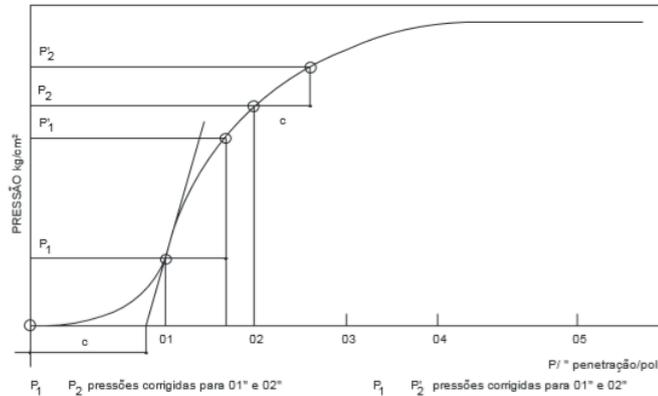


Figura 36 – Curva Pressão - Penetração

Fonte: DNER – ME 049/94

Para determinar o valor do CBR em porcentagem para cada amostra é obtido de acordo com a Fórmula 6. Adotar o maior valor obtido pelas penetrações.

$$CBR = \frac{\text{Pressão Calculada ou Pressão Corrigida}}{\text{Pressão Padrão}} \times 100 \quad (6)$$

3.5 ESTUDO DE TRÁFEGO

3.5.1 Contagem do Tráfego

Foi feito para determinar a quantidade, sentido (Sul/Norte) e a composição do fluxo de veículos que passam por um ou vários pontos selecionados do sistema viário, através de uma análise diária, de hora em hora, ou seja, das 06:00 às 20:00, por meio do aplicativo Moovit (Figura 37) e contagem de automóveis. As informações foram usadas na análise de capacidade, elevados índices de acidentes, no dimensionamento do pavimento, determinação do número “N” e ajudaram na análise das manifestações patológicas apresentadas nos pavimentos.

As contagens entre interseções têm como objetivo identificar os fluxos de uma determinada via e as contagens em interseções de levantar fluxos das vias que se interceptam e dos seus ramos de ligação. Elas foram feitas com auxílio de fichas e contadores manuais, fazendo um agrupamento de veículos com base em características semelhantes de operação (ônibus e outros automóveis).



Figura 37 - Aplicativo Moovit
Fonte: Aplicativo (Adaptado, 2019)

3.5.2 Cálculo do Número “N”

É o número de operações do eixo padrão rodoviário, que consiste num eixo simples com rodas duplas (contém carga de 8,2 toneladas). Todo o tráfego real é convertido em passagens equivalentes do eixo padrão “N”. Sendo assim, para a determinação do número “N”, VMD é o volume médio diário, P seria o período do projeto em anos e FV seria o fator de veículo, caracterizado pela fórmula (9).

$$N = 365 \times VDM \times P \times FV \quad (7)$$

Na fórmula apresentada para determinação do VMD (Fórmula 8) considerada como V_n , no qual, V_o é volume de tráfego no ano base, t é caracterizado pela taxa de crescimento anual em porcentagem definido pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), onde obterá o valor de 1,8% ao ano e n é o número de anos de acordo com o período escolhido, no caso 20 anos.

Segundo o Manual de Estudo de Tráfego do DNIT, como o período de 15 anos é contato a partir do ano de abertura ao tráfego, levando em consideração o tempo do estudo de viabilidade até a finalização da obra, adota-se para efeito de análise o prazo de 20 anos.

$$V_n = V_o \times (1 + t)^n \quad (8)$$

$$FV = FC \times FE \quad (9)$$

Para se determinar o FV, precisa-se do FC, caracterizado pelo fator de carga (indica a carga por eixo equivalente do tráfego de projeto) e FE, que seria o fator de eixo (indica o número de eixos do veículo equivalente ao tráfego de projeto). As Tabelas 9 e 10 irão

determinar o valor de FC adequado para ser usado de acordo com os tipos de eixos do automóvel e com a fórmula 10 será determinado o valor de FE.

Tabela 9 – Fatores de Equivalência de Carga do USACE

Fonte: Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006)

Tipos de Eixo	Faixas de Carga (tf)	Equações (P em tf)
Dianteiro Simples e Traseiro Simples	0 – 8	$FC = 2,0782x10^{-4}xP^{4,0175}$
	≥ 8	$FC = 1,8320x10^{-6}xP^{6,2542}$
Tandem Duplo	0 – 11	$FC = 1,5920x10^{-4}xP^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,528x10^{-6}xP^{5,484}$
Tandem Triplo	0 – 18	$FC = 8,0359x10^{-5}xP^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229x10^{-7}xP^{5,5789}$

Tabela 10 - Fatores de Equivalência de Carga do AASHTO

Fonte: Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006)

Tipos de Eixo	Equações (P em tf)
Simples de Rodagem Simples	$FC = (P/7,77)^{4,32}$
Simples de Rodagem Dupla	$FC = (P/8,17)^{4,32}$
Tandem Duplo (Rodagem Dupla)	$FC = (P/15,08)^{4,14}$
Tandem Triplo (Rodagem Dupla)	$FC = (P/22,95)^{4,22}$

$$FE = N^{\circ} \text{ de eixos} \times \frac{N^{\circ} \text{ de Veículos Específicos}}{N^{\circ} \text{ Total de Veículos}} \quad (10)$$

Determinando o Número “N”, consegue-se determinar a escolha do material da base conforme Tabela 11 e a espessura do revestimento como a Tabela 12.

Tabela 11 – Escolha do Material da Base

Fonte: DNIT IPR 723/2006 (Adaptado)

Número “N”	CBR (%)
$N \leq 10^6$	CBR ≥ 60
$N > 10^6$	CBR ≥ 80

Tabela 12 – Determinar a Espessura Mínima do Revestimento Betuminoso

Fonte: Manual de Pavimentação (DNIT, 2006)

Número “N”	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamento Superficial Betuminoso
$10^6 < N \leq 5x10^6$	Revestimento Betuminoso com 5,0cm de Espessura
$5x10^6 < N \leq 10^7$	Concreto Betuminoso com 7,5cm de Espessura
$10^7 < N \leq 5x10^7$	Concreto Betuminoso com 10,0cm de Espessura
$N > 5x10^7$	Concreto betuminoso com 12,5cm de Espessura

3.6 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

O principal parâmetro para dimensionamento é o método do CBR, no qual o critério de ruptura é o afundamento de trilha de roda em função de deformações permanentes no subleito. Foi necessário o material que compõe cada camada, volume de tráfego no período de projeto e usar os ábacos, equações, inequações e quadros do método (Tabela 13).

Tabela 13 – Coeficiente de Equivalência Estrutural
Fonte: Manual de Pavimentação (DNIT, 2006)

Componentes do Pavimento	Coeficiente K
Base ou Revestimento de Concreto Betuminoso	2,00
Base ou Revestimento Pré-Misturado a Quente, de Graduação Densa	1,70
Base ou Revestimento Pré-Misturado a frio, de Graduação Densa	1,40
Base ou Revestimento Betuminoso por Penetração	1,20
Camadas Granulares	1,00
Solo Cimento com Resistência à Compressão a 7 dias, Superior a 45 kg/cm ²	1,70
Idem, com Resistência à Compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm ² e 28 kg/cm ²	1,40
Idem, com Resistência à Compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm ² e 21 kg/cm ²	1,20

Para calcular as camadas da Figura 38 são apresentadas as simbologias, no qual, o H_m de modo geral é a espessura total do pavimento, usando um $CBR = m$ e h_n designa a espessura de camada do pavimento com $CBR = n$. Mesmo que o CBR da sub-base seja superior a 20, a espessura do pavimento necessário será com o valor de vinte, desta forma, usa-se os símbolos de H_{20} e h_{20} , no qual, representa a espessura do pavimento e da sub-base. E as simbologias de B e R representam as espessuras de base e revestimento.

Depois de determinadas as espessuras H_m , H_n , H_{20} , de acordo com a fórmula 12, e R pela tabela apresentada, as demais espessuras serão obtidas pela resolução sucessiva das fórmulas 11:

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_{SB} + h_n \times K_{ref} \geq H_m$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_{SB} \geq H_n$$

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20} \quad (11)$$

$$H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598} \quad (12)$$

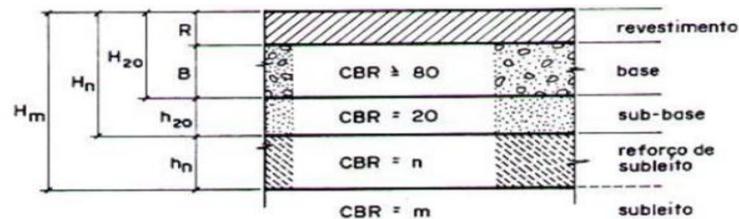


Figura 38 – Representação Esquemática da Seção do Pavimento

Fonte: DNIT

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 INVESTIGAÇÃO DAS ANOMALIAS

A seguir, são imagens que relatam as manifestações patológicas que no decorrer do tempo foram sendo apresentadas pela falta de material adequado ou execução incorreta. Dessa forma, a Figura 39 representa uma trinca interligada tipo couro de jacaré e um desgaste, o qual pode ter acontecido devido à extensão por toda a área do tráfego, o que caracteriza o fim da vida útil do revestimento.



Figura 39 – Trinca Interligada Tipo Couro de Jacaré e Desgaste
Fonte: Acervo Pessoal (2019)

Em seguida, na Figura 40, são representados dois tipos de patologias, primeiramente um buraco, provavelmente referente a algum remendo que foi feito e com o tráfego perdeu contato com o pavimento, gerando essa anomalia. E a segunda os remendos feitos, sendo o ponto mais evidente o trecho onde passam os ônibus.



Figura 40 – Remendo
Fonte: Acervo Pessoal (2019)

Segundo a Figura 41, uma patologia levou a outra. No qual, pode-se dizer que a principal é referente a um afundamento plástico do revestimento que, com o tempo resultou no buraco, visto na imagem seguinte. O afundamento plástico é gerado conforme influência plástica de uma ou mais camadas do pavimento.



Figura 41 – Afundamento Plástico seguido de um Buraco
Fonte: Acervo Pessoal (2019)

Na Figura 42, apresentam-se as seguintes manifestações patológicas, a exsudação aparecendo um pouco do ligante na superfície do pavimento resultando em manchas na cor preta; e o escorregamento, onde o revestimento sofre um deslocamento em relação à camada.



Figura 42 – Escorregamento do Revestimento
Fonte: Acervo Pessoal (2019)

4.2 ENSAIOS DO SUBLEITO DAS ESTAÇÕES XAMBIOÁ E KRAHÔ

4.2.1 Ensaio de Limite de Liquidez (LL)

Foram realizadas cinco amostras sendo apresentado por tabela (APÊNDICE A) e Gráfico 1.

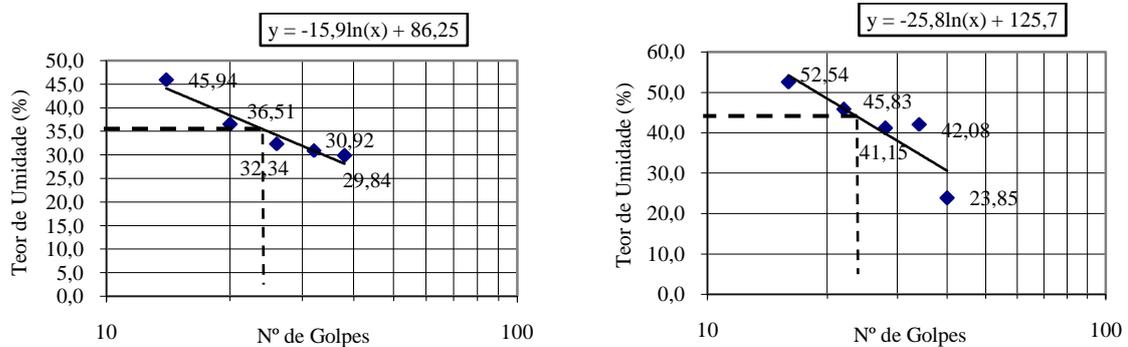


Gráfico 1 - Ensaio de Limite de Liquidez das Estações Xambioá e Krahô

Fonte: Acervo Pessoal (2019)

Para obtenção do resultado verificou-se o teor de umidade em cada amostra com 25 golpes (Figura 43), o qual, na amostra da estação Xambioá resultou em 34,80% e a Krahô 42,72%. Esses valores são derivados da textura do solo, sendo que na primeira estação o material continha mais pedregulhos e na segunda não apresentava tanto material grosso, sendo que, o tipo de solos será identificado com os ensaios de limite de plasticidade e análise granulométrica. Desta forma, de acordo com a norma, o primeiro solo (Xambioá) obteve um valor abaixo de 40% de compressibilidade, ou seja, suportando uma compressão adequada, diferente do segundo solo (Krahô), no qual, apresentou um resultado acima de 40% apresentando uma compressão maior e obtendo mais argila que o material anterior.

De acordo com os valores do gráfico da Xambioá, aos teores de umidade e número de golpes deram próximos, ao contrário da estação Krahô que em alguns pontos não ficaram tão aproximados como os ensaios 01 e 02, nos quais as diferenças de teor de umidade ficaram distantes no que se refere ao tipo de solo e a quantidade de golpes.



Figura 43 – Amostras do Ensaio de Limite de Liquidez nas Estações Xambioá e Krahô

Fonte: Acervo Pessoal (2019)

4.2.2 Ensaio de Limite de Plasticidade (LP)

Como o ensaio de limite de liquidez, o de plasticidade (Figura 44) também foi feito com cinco amostras, conforme a tabela (APÊNDICE A), onde determina a quantidade de água adicionada no solo sem perder a consistência de plasticidade. O resultado é derivado ao cálculo da média dos valores os quais, são satisfatórios por apresentarem uma respectiva média com mais de 5%, como mostrado nas porcentagens a seguir onde na estação Xambioá resultou no valor de 21,62% e na Krahô 25,62%.



Figura 44 – Amostras do Ensaio de Limite de Plasticidade nas Estações Xambioá e Krahô

Fonte: Acervo Pessoal (2019)

4.2.2.1 Índice de Plasticidade (IP) e Índice de Consistência (IC)

Para encontrar o valor de IP, foi usada a Fórmula 4 que é a diferença do valor encontrado no limite de liquidez e de plasticidade. Procura representar a quantidade de água necessária para acrescentar ao solo para que passe do estado plástico para o líquido.

$$IP = LL - LP \rightarrow IP = 34,80 - 21,60 \rightarrow IP = 13,20\% \rightarrow \text{Estação Xambioá}$$

$$IP = LL - LP \rightarrow IP = 42,72 - 25,62 \rightarrow IP = 17,10\% \rightarrow \text{Estação Krahô}$$

Segundo os cálculos feitos para determinar os Índices de Plasticidades das estações, pode-se confirmar a partir da Tabela 3, que o solo da primeira estação tem plasticidade média e da segunda muito plástica.

O Índice de Consistência dos materiais é feito de acordo com a Fórmula 5, sendo a diferença do limite de liquidez e a umidade natural do solo com maior valor, dividida pelo índice de plasticidade.

$$IC = \frac{(LL-h)}{IP} \rightarrow IC = \frac{(34,80-1,60)}{13,20} \rightarrow IC = 2,52 \rightarrow \text{Estação Xambioá}$$

$$IC = \frac{(LL-h)}{IP} \rightarrow IC = \frac{(42,72-1,45)}{17,10} \rightarrow IC = 2,41 \rightarrow \text{Estação Krahô}$$

Desta forma, pode-se analisar que ambos os solos são classificados tendo uma consistência dura, de acordo com a Tabela 4.

4.2.3 Ensaio da Análise de Granulometria

Segundo os ensaios feitos com os solos em cada estação foi analisado de acordo com as peneiras, o material que ficou retido e passou pelas peneiras, nas quais, as aberturas 19,0; 9,5; 4,8 e 2,0 (mm) são para os materiais grossos, já as de 1,19; 0,59; 0,42; 0,25; 0,15 e 0,075 (mm) são para os materiais finos.

Dessa forma, no gráfico da estação Xambioá (Gráfico 2) a peneira com abertura de 19mm passou 96,45% do material, a partir daí a porcentagem de passantes diminui chegando a 0,38% de toda a amostra colhida. Constata-se então que o material que compõe o solo pode ser composto por pedregulhos, como foi analisado nos ensaios, e pode ser silte ou argila.

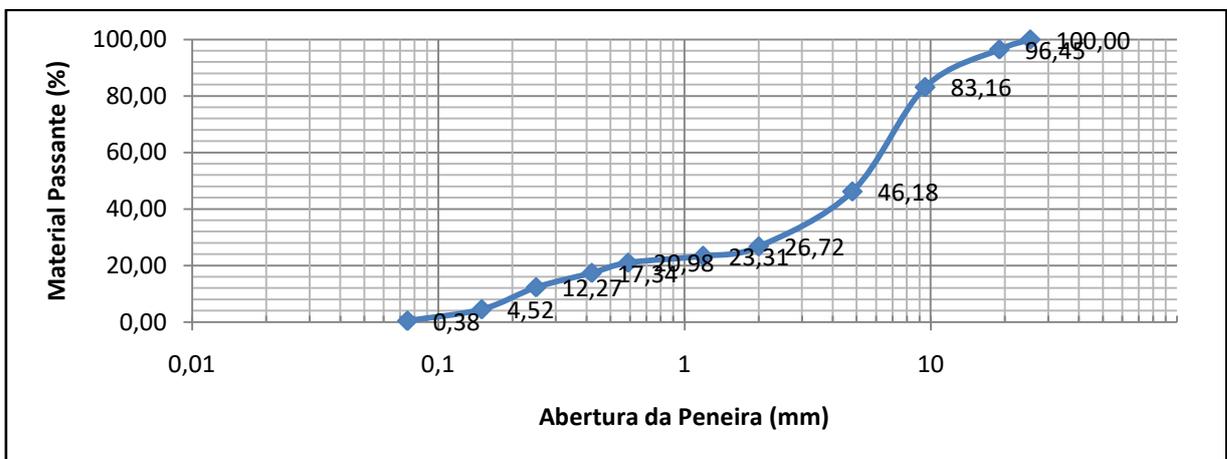


Gráfico 2 - Ensaio Granulométrico da Estação Xambioá
Fonte: Acervo Pessoal (2019)

Já no gráfico da estação Krahô (Gráfico 3), o material passou completamente na peneira de 19mm por ele ser bastante fino, sendo assim, na peneira de 4,8mm passou 99,65% do material, a partir daí a porcentagem de passantes diminui chegando a 0,62% de toda a amostra colhida. Constata-se então que o material que compõe o solo é predominantemente fino, podendo ser silte ou argila.

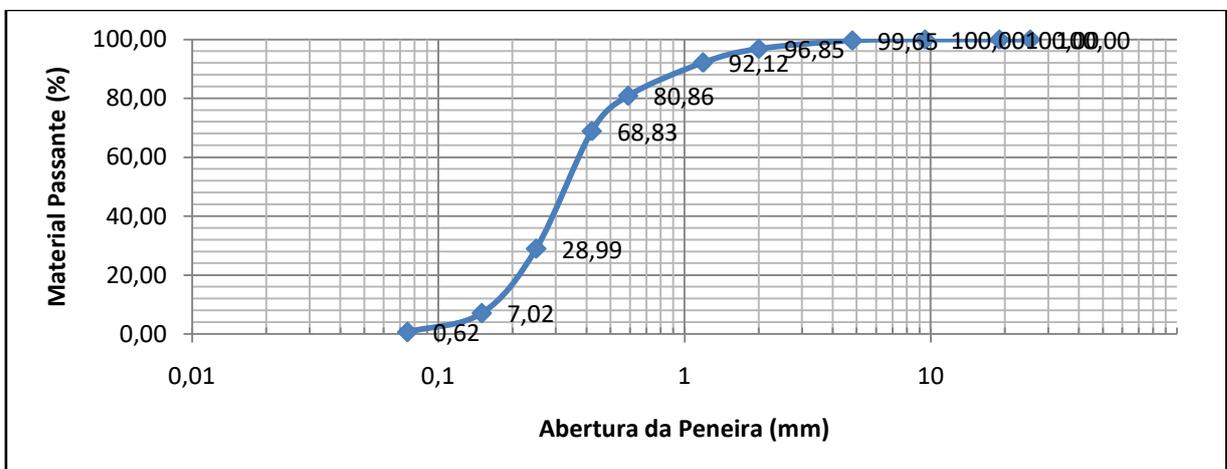


Gráfico 3 - Ensaio Granulométrico da Estação Krahô
Fonte: Acervo Pessoal (2019)

Na curva granulométrica, de acordo com o gráfico da primeira estação, pode-se notar que ela é representada pela Curva B, ou seja, apresenta uma granulometria descontínua. Já a segunda estação, a Curva D é a melhor representação pela presença maior de finos e granulometria contínua.

Segundo os ensaios pertinentes feitos e seus resultados, pode-se analisar a classificação de cada solo das amostras colhidas de acordo com a união dos métodos de SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solo) e TRB (Transportation Research Board). Desta forma, a primeira estação (Xambioá) é um solo silte arenoso argiloso marrom/ pedregulho do grupo A-2-4 de classificação GM (pedregulhos siltosos ou misturas de pedregulho areia e silte) e a estação Krahô é um silte arenoso argiloso vermelho no grupo A-6 com categoria ML (siltes inorgânicos – areias muito fina – areias finas siltosos e argilosas).

4.2.4 Ensaio de Compactação ou Ensaio de Proctor Normal

Segundo o DNIT (2006), compactação é a operação da qual resulta o aumento da massa específica aparente de um solo pela aplicação de pressão, impacto ou vibração em que, ocorre a diminuição do volume do solo. O método usado determina a densidade máxima do solo atingida sob dada energia (Proctor Normal) de compactação.

Com os valores dados no ensaio, traça-se a curva de compactação para poder verificar a umidade ótima de compactação.

Para a estação Xambioá, foi adicionada uma porcentagem de umidade de 4%, ocorrendo um acréscimo de 2% a cada corpo de prova, resultando em 12% no último. Dessa forma, obteve-se o valor da curva de compactação como mostrado no Gráfico 4.

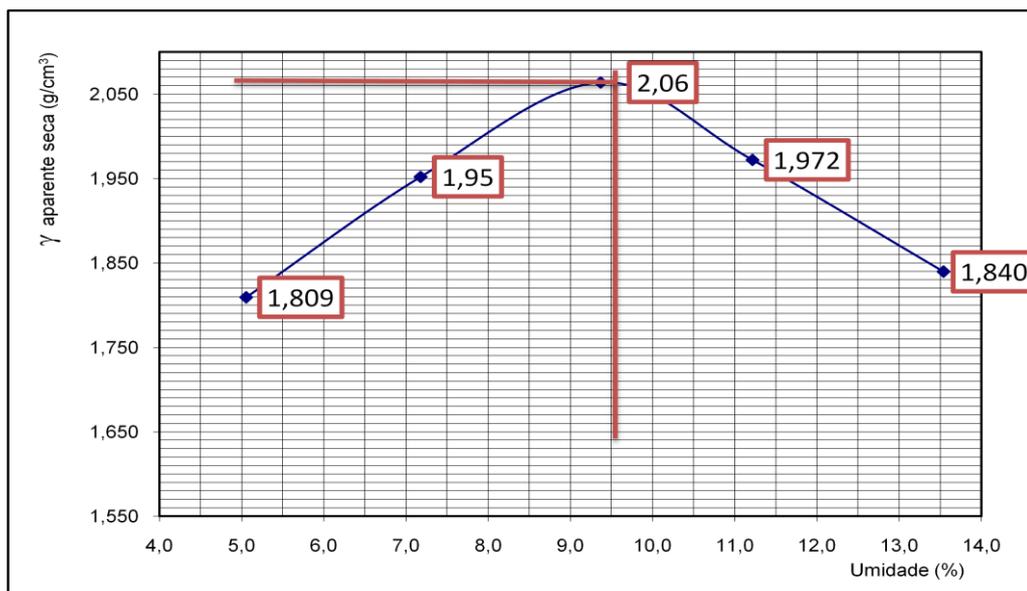


Gráfico 4 - Ensaio de Compactação da Estação Xambioá

Fonte: Acervo Pessoal (2019)

Analisando a curva acima, os valores de densidade aparente seca máxima do solo e umidade ótima, que corresponde ao ponto máximo de inflexão na curva, pode-se determinar respectivamente que se obtêm 9,50% para umidade ótima e 2,068g/cm³ para peso específico.

À estação Krahô, foi adicionada uma porcentagem de umidade de 4%, como foi feito na primeira estação, porém essa quantidade não foi necessária, ou seja, foi aumentado o valor para 6% pois o valor inicial retinha bastante água. A cada corpo de prova foi acrescentado 2% de água até o último resultando em 14%. Com a análise da curva (Gráfico 5), os valores de densidade aparente seca máxima do solo e umidade ótima foram respectivamente com valores de 11,90% para umidade ótima e 1,760g/cm³ para peso específico.

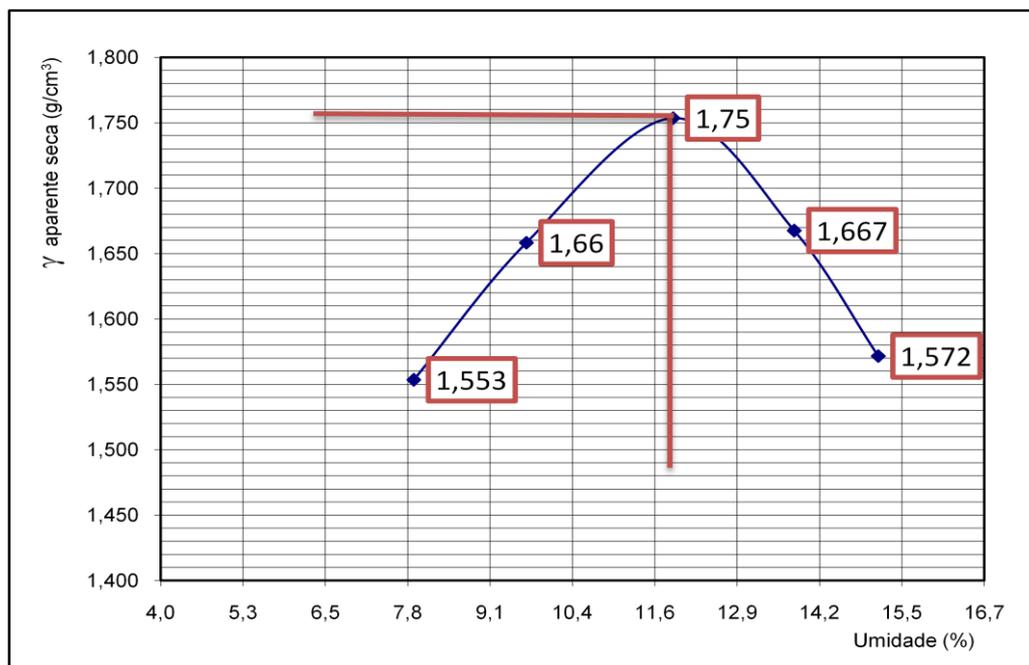


Gráfico 5 - Ensaio de Compactação da Estação Krahô

Fonte: Acervo Pessoal (2019)

4.2.5 Índice de Suporte Califórnia (California Bearing Ratio) - Ensaio de CBR

Foi realizado o ensaio de CBR como representado nos gráficos a seguir, no qual, foi analisado o corpo de prova do meio por ser o solo caracterizado como ótimo, ou seja, um solo não muito saturado e nem muito seco.

Conforme o tempo determinado pela norma foram anotadas as pressões atingidas e em seguida a multiplicação da leitura pelo coeficiente do anel, usando então, o valor da pressão corrigida. Foram levadas em consideração as duas pressões padrões: 70,31 e 105,46. De acordo com esses resultados adicionou na equação 6 para saber qual a porcentagem de CBR/ISC conforme cada estação e no fim fazendo-se uma média entre os maiores valores para determinar qual valor que será usado.

Na estação Xambioá (Gráfico 6) o valor do ISC solo foi de 26,8% e 31,8%, conforme a fórmula citada a seguir, e para ponto de estudo foi usado a média entre os resultados, no qual, para a camada estudada, subleito, o valor dado foi positivo por ter resultado em um índice de suporte Califórnia maior que vinte.

$$CBR = \frac{18,9}{70,31} \times 100 \rightarrow CBR = 26,8\%$$

$$CBR = \frac{33,6}{105,46} \times 100 \rightarrow CBR = 31,8\%$$

$$CBR_{m\u00e9dia} = \frac{31,8-26,8}{2} \rightarrow CBR_{m\u00e9dio} = 29,30\%$$

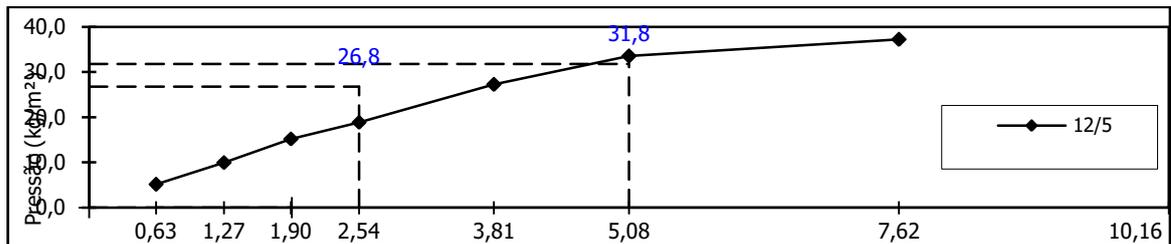


Gráfico 6 - Ensaio CBR da Estação Xambioá

Fonte: Acervo Pessoal (2019)

Já na estação Krahô (Gráfico 7) o valor do ISC solo foi de 23,1% e 20,8%, conforme a fórmula citada a seguir, e para ponto de estudo foi usado a média entre esses valores, no qual, como o solo da estação anterior (Xambioá), ele é adequado para ser usado na camada de subleito, pelo mesmo motivo, ou seja, o CBR ter dado maior de que 20%.

$$CBR = \frac{16,3}{70,31} \times 100 \rightarrow CBR = 23,1\%$$

$$CBR = \frac{21,9}{105,46} \times 100 \rightarrow CBR = 20,8\%$$

$$CBR_{m\u00e9dia} = \frac{23,1-20,8}{2} \rightarrow CBR_{m\u00e9dio} = 21,95\%$$

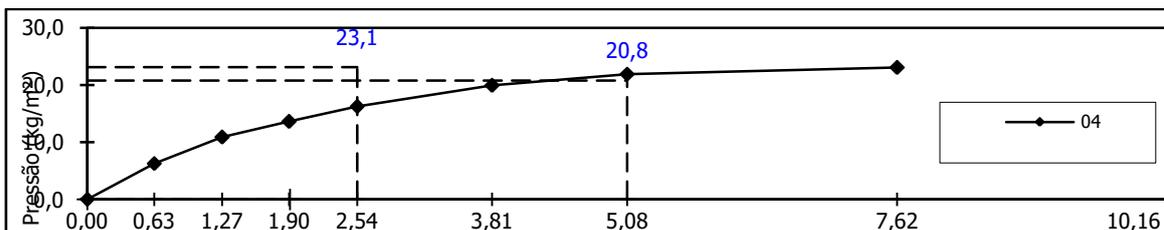


Gráfico 7 - Ensaio CBR da Estação Krahô

Fonte: Acervo Pessoal (2019)

4.3 DIMENSIONAMENTOS DOS PAVIMENTOS DAS ESTAÇÕES XAMBIOÁ E KRAHÔ

4.3.1 Estudo de Tráfego para Determinação do Número “N”

Como foi visto anteriormente, para o início da determinação do número “N”, foi adotada a equação 8, com os seguintes resultados na Tabela 14, determinando os dados de

VMD das estações durante o período de 20 anos, tendo uma taxa de 1,8% ao ano (segundo o IBGE) obtendo 605 veículos/dia na estação Xambioá e 609 veículos/dia na estação Krahô ambos no ano de 2028, contando apenas na faixa de estudo com a presença de ônibus gerais e vans.

Tabela 14 - Tabelas de VMD em 10 Anos

Fonte: Acervo Pessoal

Estação Xambioá		Estação Krahô	
Anos	VMD	Anos	VMD
2019	431	2019	434
2020	439	2020	442
2021	447	2021	450
2022	455	2022	458
2023	463	2023	466
2024	471	2024	474
2025	480	2025	483
2026	488	2026	492
2027	497	2027	501
2028	506	2028	510
2029	515	2029	519
2030	524	2030	528
2031	534	2031	538
2032	543	2032	547
2033	553	2033	557
2034	563	2034	567
2035	573	2035	577
2036	584	2036	588
2037	594	2037	598
2038	605	2038	609

Foi determinado o valor de FC (fator de carga) de acordo com as Tabelas 9 e 10 conforme o tipo de eixo de cada veículo (ônibus, vans e ônibus de viagens). Para determinar o valor de P das equações foram usados os resultados da pesagem feita pelo DNIT com as cargas referentes a cada eixo conforme a Tabela 15, no qual, os ônibus e vans com dois eixos são classificados com ESRD (eixo simples com rodas duplas) e ESRS (eixo simples com rodas simples), e os ônibus de viagens são ETD (eixo em tandem duplo) e ESRS.

Desta forma, as cargas são de acordo com as classificações dos tipos de eixos, no qual, foram determinados os valores da parte trazeira e depois a dianteira, respectivamente. Assim, os ônibus/vans obtêm uma carga média de 4,62 por eixo trazeira e 3,33 por eixo dianteira para os ônibus de viagens, a carga é de 7,46 por eixo trazeira e 3,32 por eixo dianteira.

Tabela 15 – Dados de Pesagens do Trecho
Fonte: Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006) Adaptado

	Ônibus			
	2C		3C	
	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ETD
	CARGAS POR EIXO (t)			
Pesagem 1	2,1	3,3	2,4	5,3
Pesagem 2	2,5	3,5	2,7	5,7
Pesagem 3	3,4	4,5	3,3	5,8
Pesagem 4	3,7	4,8	3,8	6,1
Pesagem 5	4,2	5,4	4,1	9,2
Pesagem 6	4,8	5,7	4,9	10
Pesagem 7	4,1	5,8	3,9	8,7
Pesagem 8	3,5	4,8	3,3	8,2
Pesagem 9	2,8	3,9	2,7	7,9
Pesagem 10	2,2	4,5	2,1	7,7
Carga Média	3,33	4,62	3,32	7,46

O valor do fator de carga foi determinado de forma geral (Tabelas 16 e 17) usando as fórmulas das tabelas 9 (fatores de equivalência de carga do USACE) e 10 (fatores de equivalência de carga da AASHTO) para as duas estações já que, as fórmulas usadas são as mesmas e o que irá mudar entre elas é a diferença de veículos entre ambas, no qual foram determinados pelo aplicativo Moovit e contagem de tráfego.

Tabela 16 - Resultados dos Fatores de Carga USACE

Fonte: Acervo Pessoal (2019)

Veículos	FC
Ônibus/Vans - Traz.	0,097
Ônibus/Vans - Dian.	0,026
Total	0,123
Ônibus viagem - Traz.	0,171
Ônibus viagem - Dian.	0,026
Total	0,196

Tabela 17 - Resultados dos Fatores de Carga AASHTO

Fonte: Acervo Pessoal (2019)

Veículos	FC
Ônibus/Vans - Traz.	0,085
Ônibus/Vans - Dian.	0,026
Total	0,111
Ônibus viagem - Traz.	0,054
Ônibus viagem - Dian.	0,025
Total	0,080

Para a determinação do FE (fato de eixo) é necessário primeiramente a quantidade de eixos para cada tipo de veículo (Tabela 18), no qual existem de dois e três eixos, com uma variação de seis a dez pneus ao total para cada automóvel. Depois da determinação dos eixos, é usada a fórmula 10 para determinar o resultado de cada transporte de acordo com a Tabela 19.

Tabela 18 - Determinação da Quantidade de Eixos

Fonte: Manual de Pavimentação (DNIT)

Veículos	Nº de Eixos	Classificação DNER
Carga Leve	2	2C
Carga Média	2	2C
Carga Pesada	2 ou 3	3C ou 2S1,2S2
Semi Reboque	3	2S3,3S3
Reboque	4	2C2,2C3
Bitrem	4	3S2B2
Ônibus	2	2E,3E

Tabela 19 - Resultados do FE das Estações Xambioá e Krahô

Fonte: Acervo Pessoal (2019)

Estação Xambioá				Estação Krahô			
Cálculo do Fator de Eixo				Cálculo do Fator de Eixo			
Veículos	Eixos	%	FE	Veículos	Eixos	%	FE
Ônibus/Vans	2	0,96	1,916	Ônibus /Vans	2	0,97	1,945
Ônibus Viagem	3	0,04	0,125	Ônibus Viagem	3	0,03	0,083
Total			2,042	Total			2,028

Em seguida, foram calculadas para ambas as estações os valores de fator de veículo (Tabela 20), produto da multiplicação entre o fator de carga e fator de eixo, como na equação 9 somando o resultado total para ser usado no número “N”. Após, foi determinado número “N” de acordo com a fórmula 7 e considerando o maior valor de acordo com os dois métodos que foram usados.

Tabela 20 - Resultados do FV das Estações com Método USACE

Fonte: Acervo Pessoal (2019)

Estação Xambioá				Estação Krahô			
Cálculo do Fator de Veículo				Cálculo do Fator de Veículo			
Veículos	FC	FE	FV	Veículos	FC	FE	FV
Ônibus/Vans	0,123	1,916	0,236	Ônibus/Vans	0,123	1,945	0,240
Ônibus Viagem	0,196	0,125	0,025	Ônibus Viagem	0,196	0,083	0,016
Total			0,261	Total			0,256

Tabela 21 - Resultados do FV das Estações com Método AASHTO

Fonte: Acervo Pessoal (2019)

Estação Xambioá				Estação Krahô			
Cálculo do Fator de Veículo				Cálculo do Fator de Veículo			
Veículos	FC	FE	FV	Veículos	FC	FE	FV
Ônibus/Vans	0,111	1,916	0,213	Ônibus/Vans	0,111	1,945	0,216
Ônibus Viagem	0,080	0,125	0,010	Ônibus Viagem	0,080	0,083	0,007
Total			0,223	Total			0,222

$$N = 365 \times VDM \times P \times FV \rightarrow N = 365 \times 605 \times 20 \times 0,261 \rightarrow N = 1,15 \times 10^6 \rightarrow \text{Utilizado}$$

$$N = 365 \times VDM \times P \times FV \rightarrow N = 365 \times 609 \times 20 \times 0,256 \rightarrow N = 1,14 \times 10^6 \rightarrow \text{Utilizado}$$

$$N = 365 \times VDM \times P \times FV \rightarrow N = 365 \times 506 \times 10 \times 0,223 \rightarrow N = 9,83 \times 10^5$$

$$N = 365 \times VDM \times P \times FV \rightarrow N = 365 \times 510 \times 10 \times 0,222 \rightarrow N = 8,27 \times 10^5$$

Para finalizar, de acordo com os resultados no número “N” das estações o material da base escolhido de acordo com a Tabela 11 é o CBR maior ou igual a 80% e para determinar a espessura segue a Tabela 12 resultando em um revestimento betuminoso com 5,0cm de espessura.

4.3.2 Pavimento Flexível

Para finalizar o dimensionamento do pavimento, foram calculadas as camadas da Figura 37 e em seguida feito à representação no AutoCAD para especificar corretamente as espessuras, para isso foram usadas as fórmulas 11 e 12 até determinar o valor da altura total, no qual, em que as bases, sub bases e reforços do subleito devem ter no mínimo espessuras de 15 cm.

Dessa forma, de acordo com os resultados em ambas as estações, dando-se um revestimento betuminoso com 5,0cm de espessura, com um coeficiente K igual a 2,0 de acordo com a Tabela 13, sendo uma base ou revestimento de concreto betuminoso.

Como CBR_{médio} da estação Xambioá deu 29,30% e da Krahô 21,95%, foi usado para cálculo da determinação das espessuras valor de 20% conforme o Manual de Pavimentação (DNIT) recomenda.

Em seguida foi determinando o valor de H₂₀ (revestimento + base) pela última equação 12, usando o CBR igual a 20% conforme o valor presente na Figura 38 seguindo a recomendação da norma, de acordo com os resultados de cada estação, sendo o primeiro o valor da Xambioá e a segunda da Krahô.

$$H_{20} = 77,67 \times (1,15 \times 10^6)^{0,0482} \times 20^{-0,598} \rightarrow H_{20} = 25,38 \text{ cm}$$

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20} \rightarrow 5 \times 2,0 + B \times 1,0 \geq 25,38 \rightarrow B = 15,38 \text{ cm (Adotado: 16 cm)}$$

$$H_{20} = 77,67 \times (1,14 \times 10^6)^{0,0482} \times 20^{-0,598} \rightarrow H_{20} = 25,36 \text{ cm}$$

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20} \rightarrow 5 \times 2,0 + B \times 1,0 \geq 25,36 \rightarrow B = 15,36 \text{ cm (Adotado: 16 cm)}$$

De acordo com o ábaco apresentado no ANEXO A e os resultados do CBR (California Bearing Ratio) que deram maiores que 20 todos os ISC usados para calcular as outras camadas resultaram no último valor do ábaco, ou seja, vinte. Dessa forma, seguem os cálculos da camada de sub-base e reforço do subleito, conforme as estações Xambioá e Krahô respectivamente:

$$H_n = 77,67 \times (1,15 \times 10^6)^{0,0482} \times 20^{-0,598} \rightarrow H_n = 25,38 \text{ cm}$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_{SB} \geq H_n \rightarrow 5 \times 2,0 + 16 \times 1,0 + h_{20} \times 1,0 \geq 25,38 \rightarrow h_{20} = 0 \text{ cm}$$

$$Hm = 77,67 \times (1,15 \times 10^6)^{0,0482} \times 20^{-0,598} \rightarrow Hm = 25,38 \text{ cm}$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_{SB} + h_n \times K_{ref} \geq Hm \rightarrow 5 \times 2,0 + 16 \times 1,0 + 0 \times 1,0 + h_n \times 1,0 \geq 25,38$$

$$\rightarrow h_n = 0 \text{ cm}$$

Como foi mostrado nos cálculos, não se obtêm espessuras das duas camadas relatadas acima nas ambas às estações, pois resultaram em zero. E quanto ao subleito, como está na norma, não é apresentado o valor da sua espessura por ser a última camada do pavimento.

Sendo assim, de acordo com os valores das camadas e dos ensaios, foram determinadas as tabelas 22 e 23 como um resumo dos resultados dados, no qual a primeira tabela representa o resumo dos ensaios feitos, mostrando os limites de liquidez e plasticidade, juntamente com os índices de plasticidade e consistência, em seguida o peso específico em g/cm³ e a umidade ótima em porcentagem, finalizando com os resultados de CBR e as classificações pelos métodos do TRB e SUCS.

Tabela 22 - Resumo dos Ensaio Feitos
Fonte: Acervo Pessoal (2019)

Resumo dos Ensaio										
Estações	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC	Y _{máx}	Hót (%)	CBR (%)	TRB	SUCS	Classificação
Xambioá	34,80	21,62	13,20	2,52	2,07	9,50	29,30	A-2-4	GM	Silte Arenoso Argiloso Marrom/ Pedregulho
Krahô	42,72	25,62	17,10	2,41	1,76	11,90	21,95	A-6	ML	Silte Arenoso Argiloso Vermelho

Por fim, foi feito o resumo de todo o dimensionamento do pavimento flexível, no qual é apresentado o volume médio diário (VMD) determinado pela contagem do tráfego, os índices de suporte Califórnia (ISC), no qual foram usados para efeito de cálculo os valores de 20% já que, de acordo com os resultados deram maiores que vinte por cento. Finalizando com as espessuras de revestimento e base.

Tabela 23 - Resumo do Dimensionamento
Fonte: Acervo Pessoal (2019)

Resumo do Dimensionamento						
Estações	VMD	Solo			Estrutura	
		ISC SUBLEITO	ISC SUB BASE	ISC BASE	Revestimento	Base
Xambioá	605,00	20%	20%	20%	5,0 cm	16,0 cm
Krahô	609,00	20%	20%	20%	5,0 cm	16,0 cm

4.3.3 Projeto dos Pavimentos

De acordo com os cálculos feitos para determinar as camadas dos pavimentos, onde o revestimento deu 5cm de espessura e a base 16 cm, segue o corte transversal dos pavimentos das estações Xambioá e Krahô e o detalhamento das camadas (Figura 45).



Figura 45 – Corte Transversal dos Pavimentos Xambioá e Krahô
Fonte: Acervo Pessoal (2019)

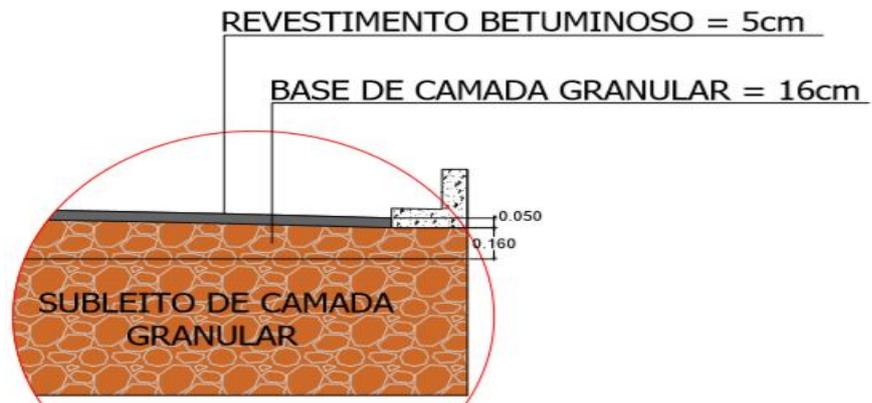


Figura 46 - Representação Detalhada dos Pavimentos
Fonte: Acervo Pessoal (2019)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal realizar a análise do comportamento mecânico dos solos constituintes das camadas de acordo com o dimensionamento, no qual caracterizou-se o solo e foi buscado o melhoramento das patologias apresentadas.

De acordo com os ensaios elaborados juntamente com a classificação dos solos das estações, pode-se constatar que, em uma das estações, o solo é adequado para ser usado no subleito, sendo um solo arenoso argiloso marrom/pedregulho com classificação A-2-4, considerado bom para o subleito, apresentando um CBR médio de 29,30% para a estação Xambioá. Por outro lado, a Krahô possui solo de silte arenoso argiloso vermelho, apresentando uma granulometria de finos bastante elevados, com classe A-6 sendo inadequado para a camada estudada, adquirindo um CBR médio de 21,95%.

A primeira estação (Xambioá) de acordo com os cálculos de dimensionamento, não apresenta má qualidade do solo, ou seja, ela pode ter apresentado as manifestações pela execução mal elaborada do pavimento. Na segunda estação (Krahô) teria que ser substituído o solo para serem usados no local, como os materiais da classe da primeira estação, assim o pavimento ficaria adequado e não apresentaria manifestações patológicas futuras tão cedo.

Por conta do tipo de manifestações patológicas foram feitos os cálculos do número "N" onde resultaram os valores de $1,15 \times 10^6$, para a estação Xambioá e $1,14 \times 10^6$ para a Krahô, sendo usado para calcular as camadas. Os pavimentos das estações são compostos por uma camada de revestimento betuminoso de 5,0cm, com uma base de 16,0cm de camada granular e não obtêm espessura sub-base e nem reforço do subleito.

Os trechos encontram-se em um estado avançado, pois as patologias não estariam manifestadas se tivessem sido feitas as manutenções adequadas ou uma execução bem feita, ou seja, prolongamento da vida útil do pavimento. Dentre as manifestações se citam: trinca interligada tipo couro de jacaré, desgaste, remendos, afundamento plástico, buracos e escorregamento do revestimento.

A primeira manifestação patológica apresentada é decorrente da execução incorreta ou falta de um material adequado, por isso aparece o desgaste mostrando o fim da vida útil do pavimento. Uma das anomalias mais presentes foram os remendos e buracos referentes à perda do contato com o pavimento, podendo levar a outra situação, afundamento plástico que aparece em maior quantidade na Estação Krahô, ou seja, ocorre quando a influência plástica aparece em uma ou mais camadas não bem elaboradas. Já na Estação Xambioá a patologia mais presente é o escorregamento do revestimento, em que o revestimento se desloca em relação à camada.

Dessa forma, ressalta-se a importância de colher o material de forma correta, elaborar os ensaios pertinentes coerentes e o principal, determinar o número “N” e dimensionar as camadas dos pavimentos de forma correta com uma vida útil para que as manifestações patológicas não existissem nos locais. Esses fatores, tendo como presença a manutenção após a elaboração do pavimento, com materiais e espessuras das camadas adequadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:2016**: Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 2 ed. Rio de Janeiro: Equipe

_____. **NBR 6459:2007**: Solo - Determinação do limite de liquidez. 2 ed. Rio de Janeiro: Equipe Técnica, 2007. 6 p.

_____. **NBR 6502:1995**: Rochas e Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Equipe Técnica, 1995. 18 p.

_____. **NBR 7180:2016**: Solo - Determinação do limite de plasticidade. 2 ed. Rio de Janeiro: Equipe Técnica, 2016. 7 p.

_____. **NBR 7181:1988**: Análise granulométrica de solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Equipe Técnica, 1988. 7 p.

_____. **NBR 7182:2016**: Solo - Ensaio de compactação. 2 ed. Rio de Janeiro: Equipe Técnica, 2016. 9 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER 041/94**: Solos - Preparação de amostras para ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: Equipe Técnica, 1994. 4 p.

_____. **DNER 049/94**: Solos - Determinação do índice de suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro: Equipe Técnica, 1994. 14 p.

_____. **DNER 051/94**: Solos - Análise granulométrica. Rio de Janeiro: Equipe Técnica, 1994. 12 p.

_____. **DNER 082/94**: Solos - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: Equipe Técnica, 1994. 3 p.

_____. **DNER 122/94**: Solos - Determinação do limite de liquidez - Método de referência e método expedito. Rio de Janeiro: Equipe Técnica, 1994. 7 p.

_____. **DNER 129/94**: Solos - Compactação utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro: Equipe Técnica, 1994. 7 p.

_____. **DNER: 299/97**: Pavimentação – Regularização do subleito. Rio de Janeiro: Equipe Técnica, 1997.

_____. **DNER 707/97**: Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários. Rio de Janeiro: Equipe Técnica, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT**: Manual de pavimentação. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **DNIT 005/03**: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - terminologia. Rio de Janeiro: Equipe Técnica, 2003. 12 p.

_____. **DNIT 008/03**: Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos: procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **DNIT 723/06**: Manual de estudos de tráfego. Rio de Janeiro: Equipe Técnica, 2006. 384 p.

ALMEIDA, Daniel Pedroso de. **Solução do projeto de pavimento rígido**: Estudo de caso: corredor de ônibus do binário das Ruas Dr. João Colin e Blumenau – Joinville/SC. 2015. 104 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina - Ufsc, Joinville, 2015.

AP&L GEOTECNIA. **Entenda sobre a classificação dos solos: tipos, granulometria e limites de consistência**. Montes Claros: Ap&l Geotecnia, 2019.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica**: Formação básica para engenheiros. 3. ed. Rio de Janeiro: Universidade Petobras, 2010. 60 p.

ESTUDO DESCRITIVO DAS PRINCIPAIS PATOLOGIAS EM PAVIMENTO FLEXÍVEL. São Paulo: Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 1, 2017.

FSP, Engenharia Civil. **CLASSIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS SOLOS**. Rio de Janeiro: Equipe Técnica, 2019.

FSP, Engenharia Civil. **COMPACTAÇÃO DOS SOLOS**. Rio de Janeiro: Equipe Técnica, 2019.

FSP, Engenharia Civil. **COMPRESSIBILIDADE, ADENSAMENTO E RECALQUES NO SOLO**. Rio de Janeiro: Equipe Técnica, 2019.

GERAIS, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas. **MECÂNICA DOS SOLOS I**. Minas Gerais: Cefet-mg, 2019.

MAIA, Iva Marlene Cardoso. **Caracterização de Patologias em Pavimentos Rodoviários**. 2012. 97 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Portugal, 2012.

MARQUES, Gabriele Born. **Análise de Pavimento Flexível**: Estudo de um trecho crítico na rodovia ERS-421. 2014. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2014.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Pavimentação**. 2002. 210 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2002.

NASCIMENTO, Elonir Dayanna Izidoro do. **Avaliação do nível de serventia e identificação de defeitos em trecho recém-construído da PB-111, entre a cidade de**

Cacimba de Dentro e a PB-015: Estudo de Caso. 2016. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual da Paraíba Campo Viii, Paraíba, 2016.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação.** 2. ed. São Paulo: Pini, 2008. 2 v.

SILVA, Cristiano de Araujo. **Estudo de caso de patologias em pavimento flexível em rodovia do oeste do Paraná.** 2018. 20 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Paranaense, Toledo, 2018.

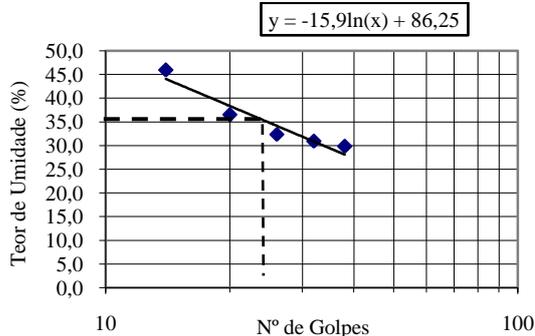
SILVA, P. F. A. **Manual de patologia e manutenção de pavimentos.** 2. ed. São Paulo: Pini, 2008. 128 p.

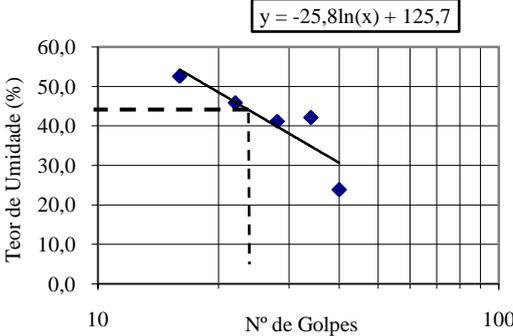
SOUZA, Maurício José de. **Patologias em Pavimentos Flexíveis.** 2004. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004.

VARGAS, Milton. **Introdução à mecânica dos solos.** São Paulo: MCgraw-Hill; USP, 1979.

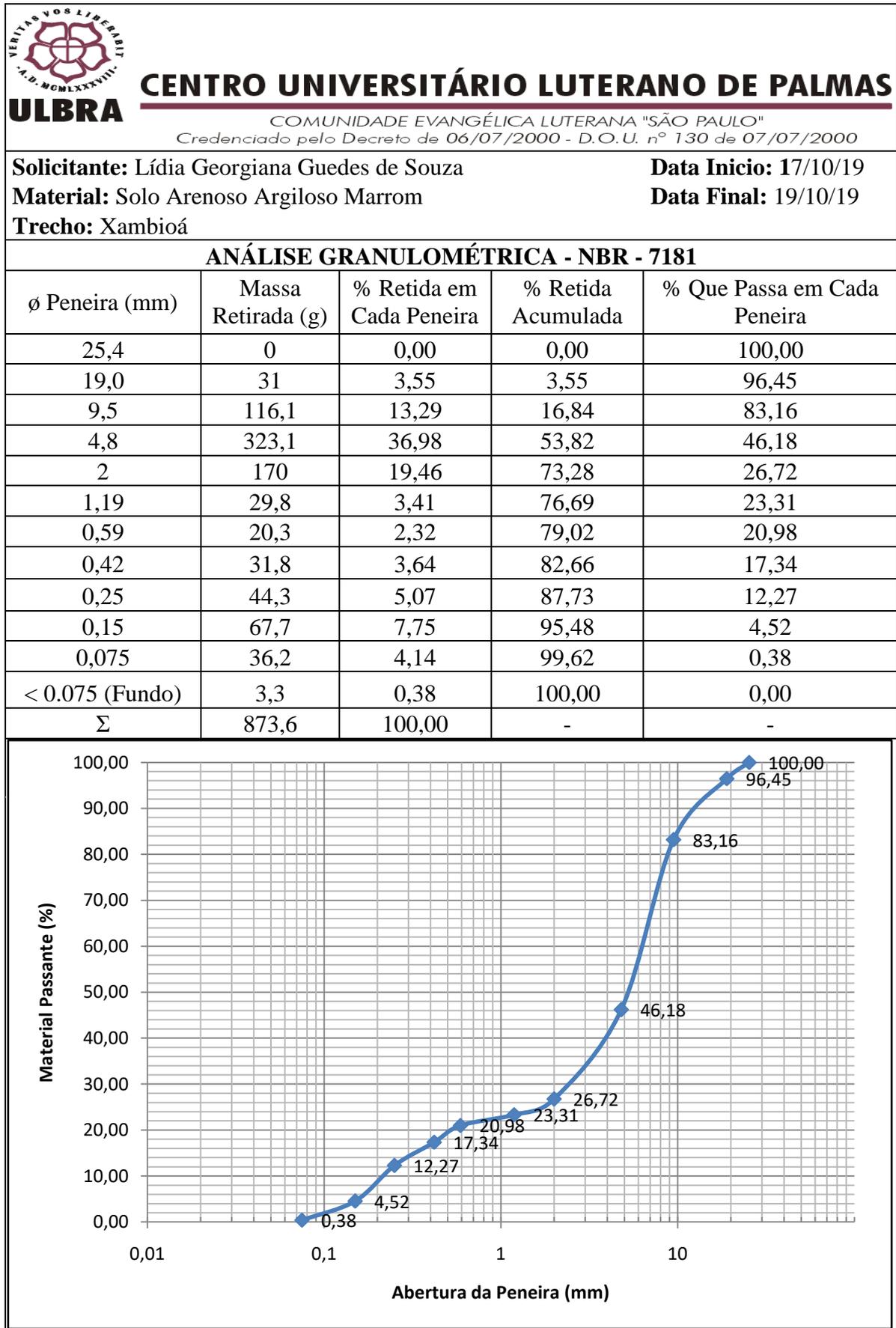
APÊNDICES

APÊNDICE A – Tabela dos Ensaio Limite de Liquidez e Plasticidade das Estações

 CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO" Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000								
LABORATÓRIO DE SOLOS E ROCHAS								
Solicitante:	Lídia Georgiana Guedes de Souza	Orientador:	Euzir Pinto Chagas					
Descrição:	Ensaio de Limites de Liquidez e Plasticidade	Data Início:	15/08/19					
Trecho:	Xambioá	Data Final:	16/08/19					
Obs.:	Material de Subleito							
LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR-6459								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	7		
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	43,00	44,60	48,80	45,70	45,80		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	37,30	38,20	41,20	36,50	36,80		
Massa da Cápsula	(g)	18,20	17,50	17,70	11,30	17,21		
Massa da Água	(g)	5,70	6,40	7,60	9,20	9,00		
Massa Solo Seco	(g)	19,10	20,70	23,50	25,20	19,59		
Teor de Umidade	(%)	29,84	30,92	32,34	36,51	45,94		
Número de Golpes	#	38	32	26	20	14		
LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR-7180								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	10	11	12	1	5		
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	9,80	10,60	9,60	9,70	9,40		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	9,50	10,30	9,35	9,40	9,00		
Massa da Cápsula	(g)	7,90	8,70	8,00	7,80	7,80		
Massa da Água	(g)	0,30	0,30	0,25	0,30	0,40		
Massa Solo Seco	(g)	1,60	1,60	1,35	1,60	1,20		
Teor de Umidade	(%)	18,75	18,75	18,52	18,75	33,33		
		CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO DA MÉDIA (LP)						
#	LP	0,95.LP	1,05.LP	Ñ Serve				
1	21,62	20,54	22,70					
2	22,34	21,22	23,45					
LL = A.ln(N° de Golpes) + B								
A	-15,99							
B	86,26							
Limite de Liquidez (LL)		34,80						
Limite de Plasticidade (LP)		21,62						
Índice de Plasticidade (IP)		13,2						

 CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO" Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000								
LABORATÓRIO DE SOLOS E ROCHAS								
Socilitante: Lídia Georgiana Guedes de Souza		Orientador: Euzir Pinto Chagas						
Descrição: Ensaio de Limites de Liquidez e Plasticidade		Data Início: 15/08/19						
Trecho: Krahô		Data Final: 16/08/19						
Obs.: Subleito								
LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR-6459								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	5		
Massa Solo Úmido + Cásula	(g)	49,80	47,60	49,60	53,60	44,00		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	43,60	39,10	40,30	42,60	34,70		
Massa da Cápsula	(g)	17,60	18,90	17,70	18,60	17,00		
Massa da Água	(g)	6,20	8,50	9,30	11,00	9,30		
Massa Solo Seco	(g)	26,00	20,20	22,60	24,00	17,70		
Teor de Umidade	(%)	23,85	42,08	41,15	45,83	52,54		
Número de Golpes	#	40	34	28	22	16		
LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR-7180								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	5		
Massa Solo Úmido + Cásula	(g)	9,40	9,10	9,60	9,70	9,40		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	9,05	8,88	9,30	9,25	9,10		
Massa da Cápsula	(g)	7,70	8,00	8,00	7,80	7,80		
Massa da Água	(g)	0,35	0,22	0,30	0,45	0,30		
Massa Solo Seco	(g)	1,35	0,88	1,30	1,45	1,30		
Teor de Umidade	(%)	25,93	25,00	23,08	31,03	23,08		
		CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO DA MÉDIA (LP)						
#	LP	0,95.LP	1,05.LP	Ñ Serve				
1	25,62	24,34	26,90					
2	25,78	24,49	27,07					
LL = A.ln(N° de Golpes) + B								
A	-25,80							
B	125,76							
Limite de Liquidez (LL)				42,72				
Limite de Plasticidade (LP)				25,62				
Índice de Plasticidade (IP)				17,1				

APÊNDICE B – Tabela de Análise Granulométrica das Estações





CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. n° 130 de 07/07/2000

Solicitante: Lídia Georgiana Guedes de Souza

Data Início: 17/10/19

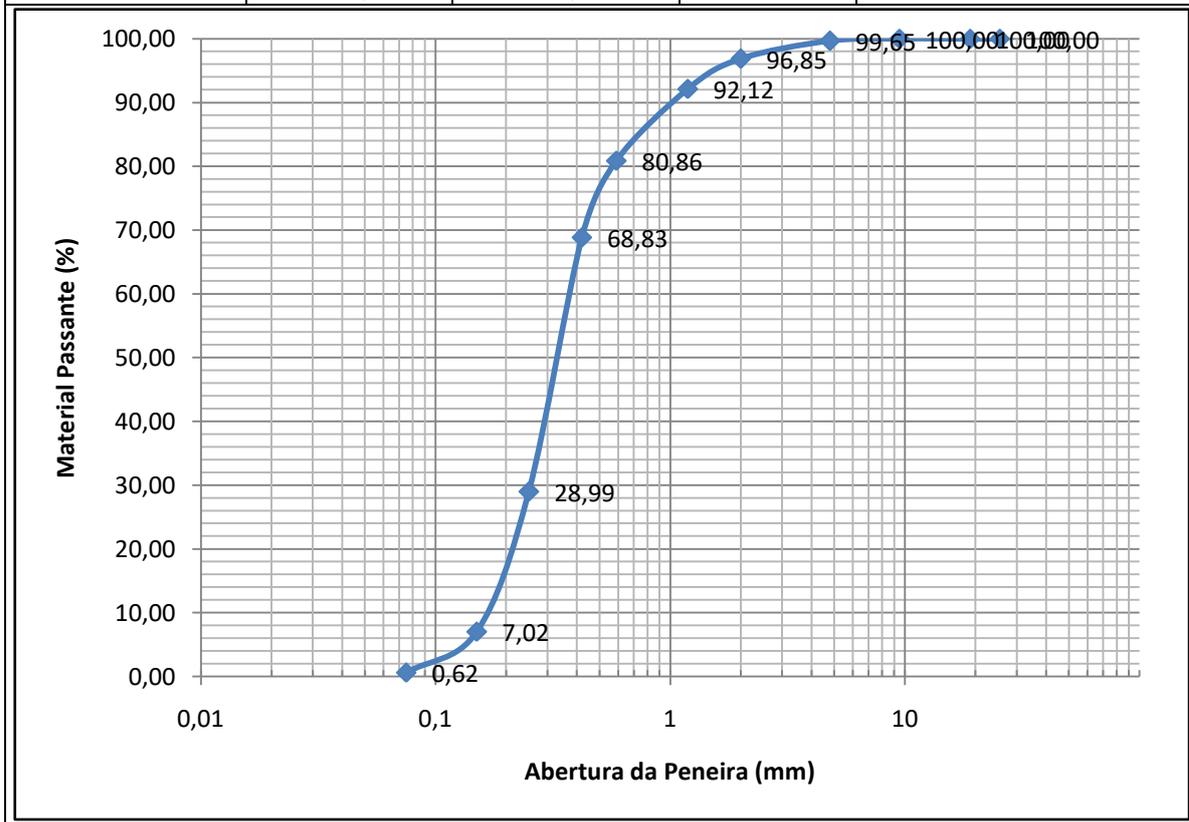
Material: Solo Arenoso Argiloso Vermelho

Data Final: 19/10/19

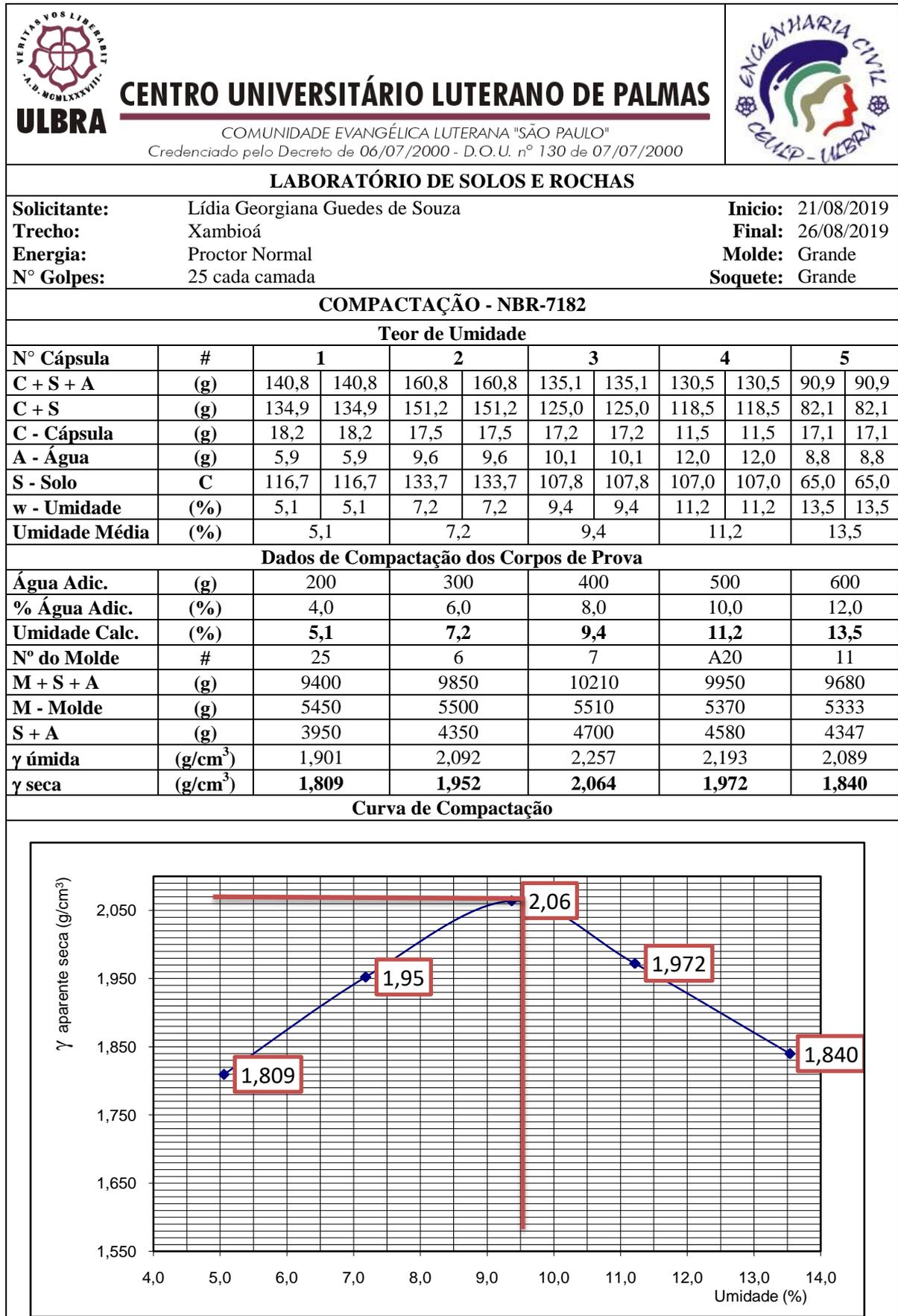
Trecho: Krahô

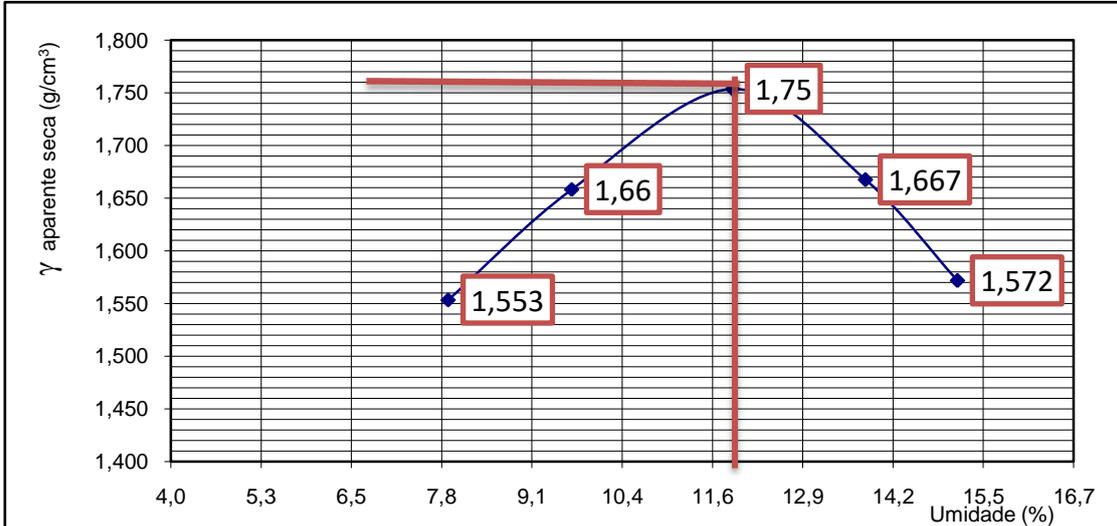
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR - 7181

% Peneira (mm)	Massa Retida (g)	% Retida em Cada Peneira	% Retida Acumulada	% Que Passa em Cada Peneira
25,4	0,0	0,00	0,00	100,00
19	0,0	0,00	0,00	100,00
9,5	0,0	0,00	0,00	100,00
4,8	2,0	0,35	0,35	99,65
2	16,2	2,80	3,15	96,85
1,19	27,4	4,74	7,88	92,12
0,59	65,1	11,25	19,14	80,86
0,42	69,6	12,03	31,17	68,83
0,25	230,5	39,84	71,01	28,99
0,15	127,1	21,97	92,98	7,02
0,075	37,0	6,40	99,38	0,62
< 0.075 (Fundo)	3,6	0,62	100,00	0,00
Σ	578,5	100,00		

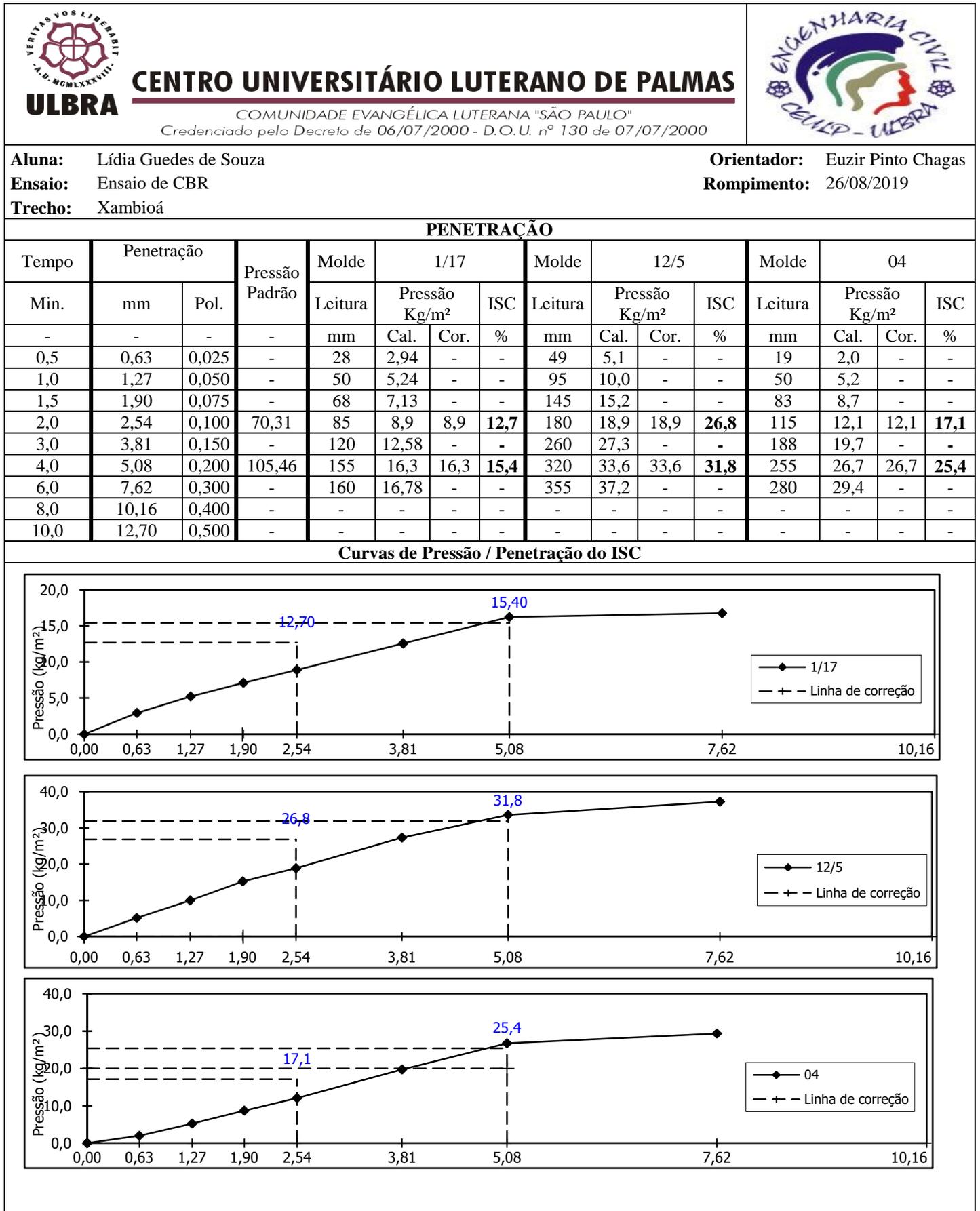


APÊNDICE C – Tabela de Ensaio de Compactação das Estações



 CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS <small>COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"</small> <small>Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000</small>											
LABORATÓRIO DE SOLOS E ROCHAS											
Solicitante:	Lídia Georgiana Guedes de Souza	Início:	19/08/2019								
Trecho:	Krahô	Final:	23/08/2019								
Energia:	Proctor Normal	Molde:	Grande								
Nº Golpes:	25 cada camada	Soquete:	Grande								
COMPACTAÇÃO - NBR-7182											
Teor de Umidade											
Nº Cápsula	#	1		2		3		4		5	
C + S + A	(g)	87,0	87,0	100,2	100,2	90,8	90,8	105,5	105,5	111,3	111,3
C + S	(g)	81,5	81,5	92,9	92,9	83,3	83,3	95,0	95,0	99,0	99,0
C - Cápsula	(g)	12,0	12,0	17,3	17,3	20,4	20,4	18,7	18,7	17,8	17,8
A - Água	(g)	5,5	5,5	7,3	7,3	7,5	7,5	10,5	10,5	12,3	12,3
S - Solo	C	69,5	69,5	75,6	75,6	62,9	62,9	76,3	76,3	81,2	81,2
w - Umidade	(%)	7,9	7,9	9,7	9,7	11,9	11,9	13,8	13,8	15,1	15,1
Umidade Média	(%)	7,9		9,7		11,9		13,8		15,1	
Dados de Compactação dos Corpos de Prova											
Água Adic.	(g)	300		400		500		600		700	
% Água Adic.	(%)	6,0		8,0		10,0		12,0		14,0	
Umidade Calc.	(%)	7,9		9,7		11,9		13,8		15,1	
Nº do Molde	#	17		8		11		20		16	
M + S + A	(g)	8950		9420		9630		9290		9080	
M - Molde	(g)	5485		5636		5534		5324		5312	
S + A	(g)	3465		3784		4096		3966		3768	
γ úmida	(g/cm ³)	1,676		1,818		1,963		1,898		1,809	
γ seca	(g/cm ³)	1,553		1,658		1,754		1,667		1,572	
Curva de Compactação											
											

APÊNDICE D – Tabela de Ensaio de Índice de Suporte Califórnia das Estações




CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

 COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
 Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000

Aluna: Lídia Guedes de Souza

Orientador: Euzir Pinto Chagas

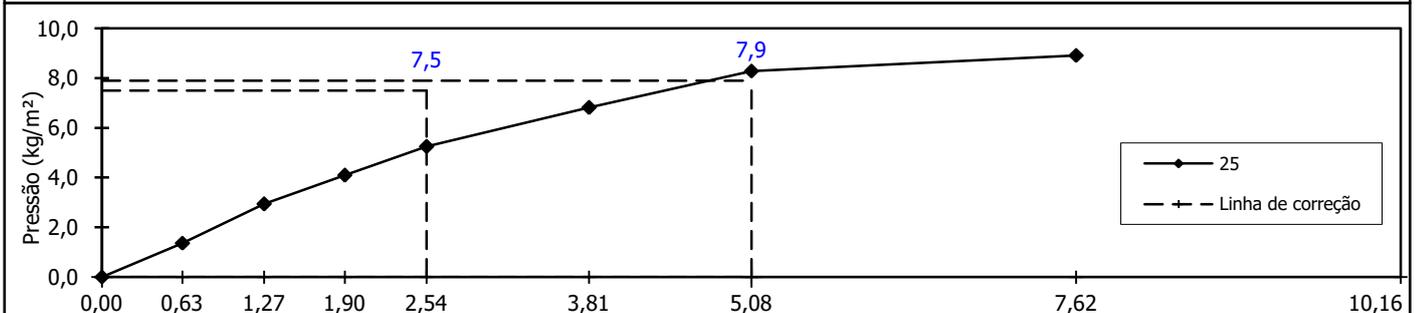
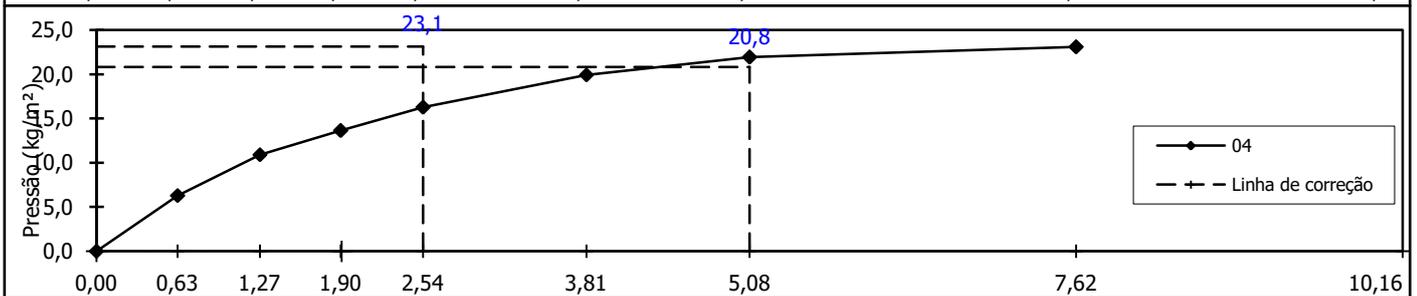
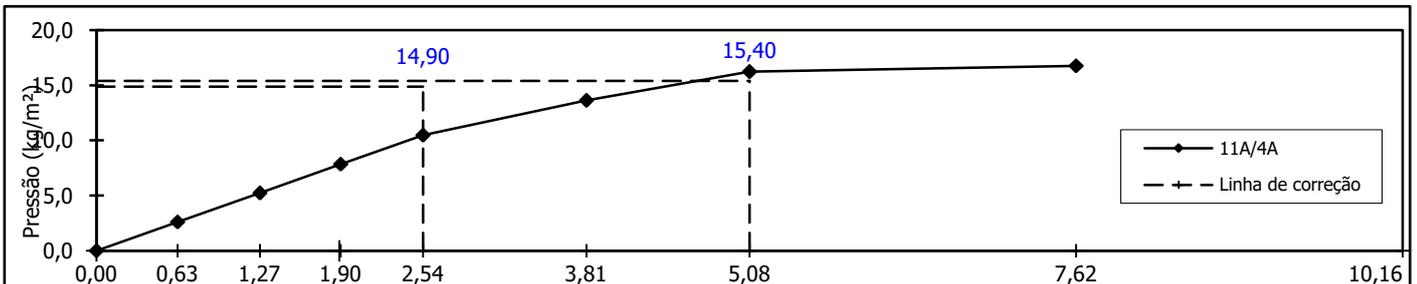
Ensaio: Ensaio de CBR

Rompimento: 23/08/2019

Trecho: Krahô

PENETRAÇÃO

Tempo	Penetração		Pressão Padrão	Molde	11A/4A			Molde	04			Molde	25		
	mm	Pol.			Leitura	Pressão Kg/m ²	ISC		Leitura	Pressão Kg/m ²	ISC		Leitura	Pressão Kg/m ²	ISC
-	-	-	-	mm	Cal.	Cor.	%	mm	Cal.	Cor.	%	mm	Cal.	Cor.	%
0,5	0,63	0,025	-	25	2,62	-	-	60	6,3	-	-	13	1,4	-	-
1,0	1,27	0,050	-	50	5,24	-	-	104	10,9	-	-	28	2,9	-	-
1,5	1,90	0,075	-	75	7,86	-	-	130	13,6	-	-	39	4,1	-	-
2,0	2,54	0,100	70,31	100	10,50	10,5	14,9	155	16,3	16,3	26,8	50	5,2	5,2	7,5
3,0	3,81	0,150	-	130	13,63	-	-	190	19,9	-	-	65	6,8	-	-
4,0	5,08	0,200	105,46	155	16,30	16,3	15,4	209	21,9	21,9	20,8	79	8,3	8,3	7,9
6,0	7,62	0,300	-	160	16,78	-	-	220	23,1	-	-	85	8,9	-	-
8,0	10,16	0,400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10,0	12,70	0,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Curvas de Pressão / Penetração do ISC


APÊNDICE E – Tabela da Contagem de Tráfego das Estações

 CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS ULBRA COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO" Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000				
Solicitante: Lídia Georgiana Guedes de Souza				
Data: 03/10/2019				
Tempo: Bom e Chuvoso				
Trecho: Xambioá				
CONTAGEM CLASSIFICATÓRIA DE TRÁFEGO				
Horas		Ônibus Interurbanos	Ônibus Urbanos e Vans	Total
06:00	07:00	2	41	43
07:00	08:00	3	52	61
08:00	09:00	2	31	37
09:00	10:00	-	24	28
10:00	11:00	-	25	28
11:00	12:00	-	23	26
12:00	13:00	-	26	29
13:00	14:00	-	28	30
14:00	15:00	-	24	27
15:00	16:00	-	26	29
16:00	17:00	1	32	36
17:00	18:00	2	32	39
18:00	19:00	3	26	29
19:00	20:00	5	23	28
Total		18	413	431

**ULBRA****CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

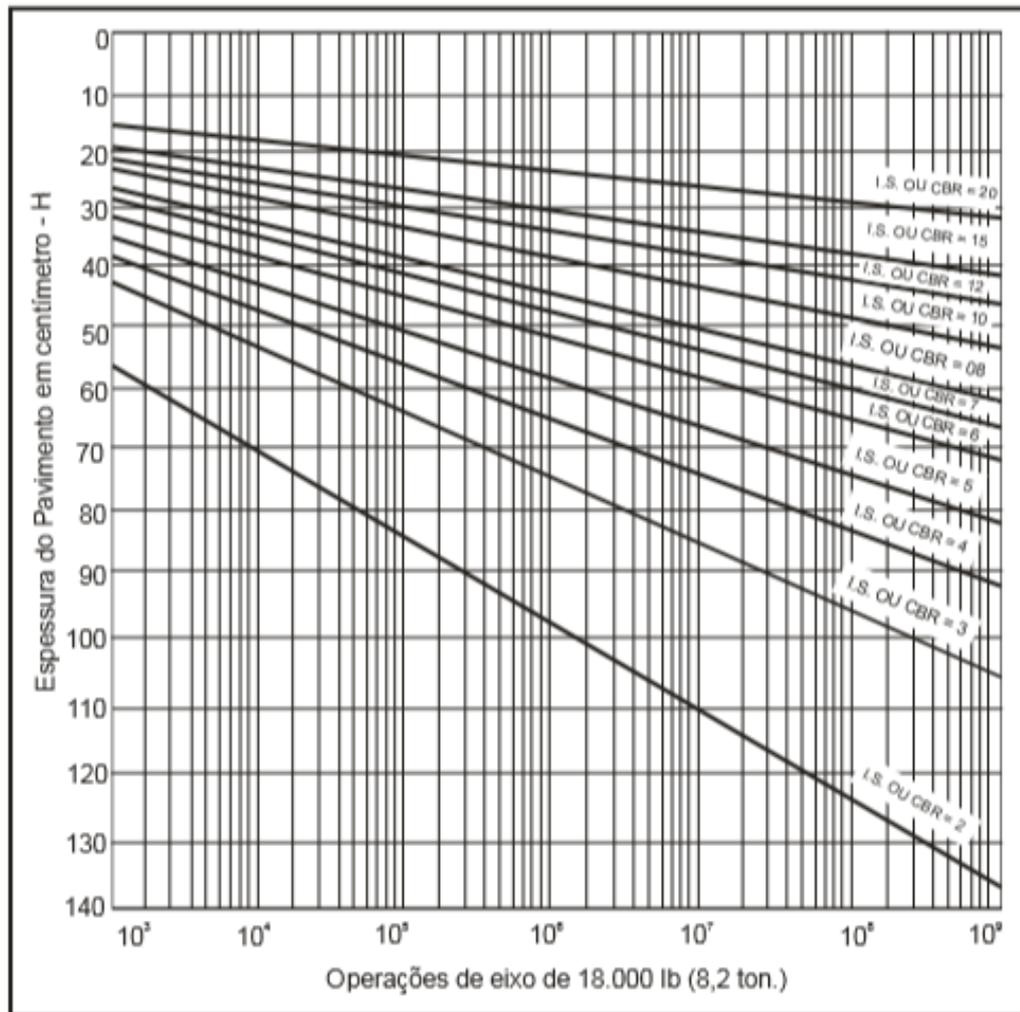
COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
 Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000

Socilitante: Lídia Georgiana Guedes de Souza**Data:** 03/10/2019**Tempo:** Bom e Chuvoso**Trecho:** Krahô**CONTAGEM CLASSIFICATÓRIA DE TRÁFEGO**

Horas		Ônibus Interurbanos	Ônibus Urbanos e Vans	Total
06:00	07:00	-	56	56
07:00	08:00	-	57	61
08:00	09:00	1	28	31
09:00	10:00	4	23	34
10:00	11:00	-	21	21
11:00	12:00	-	25	27
12:00	13:00	-	24	26
13:00	14:00	-	24	24
14:00	15:00	-	24	26
15:00	16:00	-	28	30
16:00	17:00	-	32	34
17:00	18:00	3	34	41
18:00	19:00	3	25	28
19:00	20:00	1	21	22
Total		12	422	434

ANEXOS

ANEXO A – Ábaco para Determinação de Espessuras do Pavimento



ANEXO B – Dado de Pesagem do Trecho Completo

	Ônibus				Veículos de Carga											
	2C		3C		2C		3C		4C		2S3			3S3		
	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Traz. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Traz. ETT
CARGAS POR EIXO (t)																
Pesagem 1	2,1	3,3	2,4	5,3	3,0	6,2	3,2	8,4	3,9	19,1	3,7	6,5	18,3	4,9	13,7	18,4
Pesagem 2	2,5	3,5	2,7	5,7	3,3	6,1	3,5	8,7	4,4	19,4	4,2	7,4	19,7	4,9	14,0	19,9
Pesagem 3	3,4	4,5	3,3	5,8	3,3	5,9	3,8	8,3	3,8	18,7	3,3	6,8	18,5	4,3	13,2	18,1
Pesagem 4	3,7	4,8	3,8	6,1	4,2	7,3	4,4	9,8	5,3	20,1	5,6	8,4	20,2	5,9	14,8	19,9
Pesagem 5	4,2	5,4	4,1	9,2	4,7	7,4	4,9	9,7	5,6	20,8	5,1	7,9	19,5	4,9	14,1	19,7
Pesagem 6	4,8	5,7	4,9	10	5,4	8,8	5,9	10,2	5,9	20,7	6,0	9,1	21,3	4,4	13,7	20,3
Pesagem 7	4,1	5,8	3,9	8,7	4,3	7,1	4,0	9,3	4,9	19,7	4,9	7,7	19,4	4,9	14,1	19,7
Pesagem 8	3,5	4,8	3,3	8,2	4,1	7,4	4,6	9,3	5,1	20,3	5,7	8,5	20,9	5,8	14,5	20,2
Pesagem 9	2,8	3,9	2,7	7,9	3,5	7,7	3,2	8,4	4,6	19,9	5,2	8,0	21,0	5,6	14,7	20,5
Pesagem 10	2,2	4,5	2,1	7,7	2,8	5,6	2,7	7,6	4,7	19,6	5,6	8,9	20,4	5,9	15,0	20,8
Carga Média	3,33	4,62	3,32	7,46	3,86	6,95	4,02	8,97	4,82	19,83	4,93	7,92	19,92	5,15	14,18	19,75

Documentos candidatos

[scielo.br/pdf/rarv/v... \[1,3%\]](#)[scribd.com/document/... \[0,45%\]](#)[slideplayer.com/slid... \[0,39%\]](#)[pdfs.semanticscholar... \[0,38%\]](#)[slideshare.net/glory... \[0,22%\]](#)[researchgate.net/jou... \[0,05%\]](#)[issuu.com/editorarud... \[0%\]](#)[pt.scribd.com/docume... \[0%\]](#)[academia.edu/1845024... \[0%\]](#)

Arquivo de entrada: TCC II - Definitivo.docx (13238 termos)

Arquivo encontrado		Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)	
scielo.br/pdf/rarv/v...	Visualizar	3425	214	1,3	
scribd.com/document/...	Visualizar	544	62	0,45	
slideplayer.com/slid...	Visualizar	1147	56	0,39	
pdfs.semanticscholar...	Visualizar	6684	77	0,38	
slideshare.net/glory...	Visualizar	3686	38	0,22	
researchgate.net/jou...	Visualizar	7419	12	0,05	
issuu.com/editorarud...	Visualizar	120	0	0	
pt.scribd.com/docume...	Visualizar	265	0	0	
docsity.com/pt/funda...	-	-	-	-	Parece que o documento não existe ou não pode ser acessado. HTTP response code: 403