

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
EDUARDO PAGNONCELLI RAYZER
LEONARDO FERNANDO HENDGES DA SILVA

**COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE PAVIMENTAÇÃO POLIÉDRICA
E PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA PARA APLICAÇÃO EM UMA VIA RURAL
NO MUNICÍPIO DE CAPITÃO LEÔNIDAS MARQUES – PR**

CASCADEL - PR

2020

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
EDUARDO PAGNONCELLI RAYZER
LEONARDO FERNANDO HENDGES DA SILVA

**COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE PAVIMENTAÇÃO POLIÉDRICA
E PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA PARA APLICAÇÃO EM UMA VIA RURAL
NO MUNICÍPIO DE CAPITÃO LEÔNIDAS MARQUES – PR**

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

Professor Orientador: Mestre, Engenheiro Civil, Maycon André Almeida.

CASCADEL - PR

2020

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

EDUARDO PAGNONCELLI RAYZER

LEONARDO FERNANDO HENDGES DA SILVA

**COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE PAVIMENTAÇÃO POLIÉDRICA
E PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA PARA APLICAÇÃO EM UMA VIA RURAL
NO MUNICÍPIO DE CAPITÃO LEÔNIDAS MARQUES – PR**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG,
como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob
orientação do Professor **Mestre, Engenheiro Civil, MAYCON ANDRÉ ALMEIDA.**

BANCA EXAMINADORA

Orientador Prof. ME. Maycon André Almeida
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil

Professora Especialista Vanessa Wiebbelling
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil

Professora Especialista Chirley Taina Kaul
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil

Cascavel - PR
2020

DEDICATÓRIA

Dedicamos o presente trabalho, aos nossos queridos pais que nos apoiaram na realização desta conquista, por acreditar, amar e compreender.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a Deus, por nos proporcionar o dom da vida.

Aos nossos queridos pais, que sempre estiveram presentes em nos momentos mais difíceis e que nunca desistiram de nos apoiar e fizeram grandes sacrifícios para que nós pudéssemos realizar o sonho tão almejado Engenheiro Civil.

Ao orientador Maycon André Almeida, pela paciência de nos orientar.

Aos demais professores, que também fizeram parte de nossas vidas acadêmicas e dos quais nunca esqueceremos.

E finalmente, aos amigos e colegas que transformaram essa longa jornada em divertida e alegre companheirismo.

A gratidão e a amizade sincera são a moeda que nunca perde o valor, e é a memória do coração.

EPIÍGRAFE

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”

Ayrton Senna

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pavimento asfáltico.....	22
Figura 2 – Pavimento flexível	25
Figura 3 - Pavimento poliédrico.	28
Figura 4 - Pavimento poliédrico em construção.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 5 – Trecho analisado	30
Figura 6 – Via rural e tipo de solo.....	31
Figura 7 - Ensaio Proctor.....	34
Figura 8 – Curva de compactação.	35
Figura 9 - Ensaio ISC.	37
Figura 10 - Gráfico de dimensionamento do pavimento segundo o método DNIT.	41
Figura 11 - Representação das camadas.....	43
Figura 12 – Curva de compactação com resultados obtidos	44
Figura 13 - Primeira leitura após as 24 horas e última leitura após as 96 horas.....	45
Figura 14 - Estrutura do pavimento poliédrico.....	47
Figura 15 – Estrutura do pavimento asfáltico.....	Erro! Indicador não definido.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação entre o número N e as espessuras mínimas de revestimentos.....	40
Tabela 2 - Coeficientes estruturais.	41
Tabela 3 - Ensaio de ISC dados.....	46
Tabela 4 – Quantitativo de materiais do pavimento asfáltico.	48
Tabela 5 – Quantitativos de materiais do pavimento poliédrico	48
Tabela 6 - Preços unitários e totais para implantação do pavimento asfáltico.....	48
Tabela 7 - Preços unitários e totais para implantação do pavimento poliédrico.....	49

LISTA DE SIGLAS

CBR - Índice Suporte Califórnia

CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

PIB – Produto Interno Bruto

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	18
1.1 INTRODUÇÃO	18
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 Objetivo geral	19
1.2.2 Objetivos específicos	19
1.3 JUSTIFICATIVA	19
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	20
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	20
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	20
CAPÍTULO 2	22
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1.1 Pavimentos	22
2.1.2 Tipos de Pavimentos	24
2.1.3 Pavimento Flexível	25
2.1.3.1 Concreto Betuminoso Usinado a Quente – CBUQ	26
2.1.4 Pavimento Poliédrico	27
CAPÍTULO 3	30
3.1 TIPO DE ESTUDO E LOCAL DE PESQUISA	30
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	31
3.3 COLETA DE AMOSTRAS	32
3.4 ENSAIOS	32
3.4.1 Ensaio de Proctor	32
3.4.2 Ensaio de Índice Suporte Califórnia (ISC)	35
3.5 DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS	37
3.5.1 Dimensionamento do Pavimento Poliédrico	37
3.5.2 Cálculo da Espessura do Pavimento Poliédrico	38
3.5.3 Dimensionamento Pavimento Asfáltico	39
3.5.4 Quantitativo de Materiais	43
CAPÍTULO 4	44
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1.1 Ensaio de Compactação	44

4.1.2 Ensaio de ISC	44
4.1.3 Dimensionamento do Pavimento Poliédrico	47
4.1.4 Dimensionamento do Pavimento Asfáltico	Erro! Indicador não definido.
4.1.5 Quantitativos de materiais utilizados nos dois métodos construtivos de pavimentos	48
4.1.6 Comparação de custo dos sistemas construtivos de pavimento.....	47
CAPÍTULO 5.....	52
5.1 CONCLUSÃO.....	52
CAPÍTULO 6.....	52
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	54
REFERÊNCIAS	55
ANEXOS	58
ANEXO A	58

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

O Brasil, sendo um país com um território de dimensões extensas, onde o transporte rodoviário é a principal via para a circulação de todas as espécies de cargas, investir na malha viária é importante para quem quer seguir o rumo do progresso, sem riscos de acidentes (MANZATO, 2014).

Nesse contexto, o pavimento é composto por camadas desenvolvidas com um ou mais materiais, preparado sobre o terreno natural ou terraplenado; possui a finalidade de ampliar a resistência desse terreno e admitir a circulação de automóveis e pessoas por uma via (MARCHIONI, 2012).

Para tanto, os materiais selecionados em meio à pavimentação precisam ser inicialmente avaliados pela capacidade de drenagem, devendo absorver a água no interior de suas estruturas. Outro ponto de suma importância é a da criação de um sistema de drenagem subsuperficial para impedir agravos, tais como bombeamento, desagregação e redução da resistência no cisalhamento dos materiais (PEREIRA, 2010).

Dentre os principais problemas inerentes aos pavimentos, pode-se citar a infiltração, que ocasiona danos na estrutura e diminuem a sua vida útil, bem como a capilaridade, que acontece em razão da ação da tensão superficial nos vazios do solo acima da linha de saturação (MARCHIONI, 2012).

De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), os pavimentos flexíveis são aqueles compostos por uma camada superficial asfáltica – revestimento, apoiados em camadas de base, sub-base e de reforço do subleito, constituídos por materiais granulares, solos ou misturas de solos, sem adição de agentes cimentantes, e que sob carregamento sofre deformação elástica em todas as camadas, ou seja, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes e com pressões concentradas. A pavimentação poliédrica, por sua vez, apresenta a composição de revestimentos de pedras irregulares, que são assentadas no solo por meio de processo manual, ficando estas peças justapostas, sendo e então rejuntadas com areia, betume, assim como argamassa de cimento – areia ou ainda a mistura de agregados e argila de um recurso que estima sua propriedade e diminuindo, assim, os custos de manutenção, especialmente em se tratando de estradas, com grande vida útil, além de ser permeável

(MANZATO, 2014).

Assim, partindo da necessidade de se comparar as opções com a finalidade de se conseguir a melhor solução, torna-se importante a análise de técnica desses dois tipos de pavimentação. Com isso, este o trabalho tem como finalidade avaliar, entre duas opções, pavimentação poliédrica e asfáltica, para vias rurais que necessitam de soluções com o menor custo, mas que apresentem boa capacidade de carga para a circulação de veículos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Comparar duas técnicas utilizadas em estradas rurais: pavimentação poliédrica ou pavimentação asfáltica, incluindo-se ensaios de laboratório, dimensionamento de pavimentos e orçamento para implantação na cidade de Capitão Leônidas Marques – PR.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Coletar amostras *in loco* e realizar ensaios de Proctor e CBR em laboratório;
- b) Dimensionar a estrutura dos dois sistemas de pavimentos, tendo como referência as metodologias adotadas no Brasil;
- c) Levantar os quantitativos obtidos para os dois sistemas para implantação.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os pavimentos podem ser dimensionados para obterem uma maior vida útil pré-estabelecida. Porém, com o transcorrer do tempo, a capacidade estrutural se altera em razão de fatores externos, tais como a ausência de drenagem e altas cargas, acelerando assim, sua deterioração.

Fundamentando-se em estudos que comprovam que a restauração, por diversas

vezes se torna-se mais dispendiosa que a repavimentação. Por isso, torna-se conveniente determinar as melhores alternativas estruturais que podem ser aproveitadas em estradas rurais visando à relação custo-benefício, comparando propostas de soluções estruturais. Com a análise do desempenho dos pavimentos, bem como os seus materiais constituintes, é possível analisar fatores condicionantes de projeto, os quais têm uma variação de acordo com a sua caracterização.

Observa-se que a análise de pavimentos rodoviários é tão importante quanto seu projeto técnico e estrutural; muitas vezes, apenas os custos iniciais de construção são calculados para avaliar a sustentabilidade do projeto econômico. Todavia, esquecer os custos de manutenção expõe a sociedade a riscos inaceitáveis de decisões caras e incorretas.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Assim, tem-se a seguinte questão problema da pesquisa: Qual dos sistemas de pavimentação, a serem analisados, se apresentará como mais tecnicamente viável?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

Acredita-se que a análise do pavimento e a escolha do tipo de pavimento a ser executado precisam observar uma série de fatores que se iniciam com a disponibilidade de mão de obra, capital e até suas limitações técnicas (PELLENZ, 1983). Partindo da análise de comparação entre o pavimento poliédrico e pavimento asfáltico, busca-se aplicar a melhor solução técnica entre os dois tipos de pavimentos.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O estudo será delimitado ao tema de pavimentação na construção, tendo como objeto de estudo o dimensionamento com amostras coletadas *in loco*, em que, para o estudo, foram coletados 30 quilogramas de solo, posteriormente feitos ensaios de Proctor e CBR, sendo Proctor com 1 amostra dividida em 5 cápsulas, e CBR, com 1 amostra. Analisando-se de tal maneira a pavimentação asfáltica e pavimentação poliédrica e, posteriormente deve-se comparar a pavimentação mais viável em relação

ao quantitativo de material usado no trecho de 2,1 km, no município de Capitão Leônidas Marques.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Pavimentos

De acordo com Balbo (2009), define-se como uma superfície de estrada, ou pavimento, o material de superfície durável que está estabelecido em uma área que será utilizada para sustentar o tráfego de veículos ou pedestres, ou, ainda, servir como uma estrada ou passarela, conforme indica a Figura 1.

Figura 1 - Pavimento asfáltico.



Fonte: Sua Informação, (2012)

A definição dos tipos de revestimentos destinados à pavimentação são feitos a partir da avaliação dos resultados de uma série de fatores, como : o tráfego, o clima, o custo dos materiais, a forma de execução, as condições de fundação e a disponibilidade de materiais que serão utilizados na pavimentação. Dessa maneira, os revestimentos são classificados de acordo com o material usado e/ou seu comportamento mecânico (SANTOS, 2010).

Segundo Austrouads (2009), a pavimentação de uma estrada pode ter várias funções, dentre as quais podem se destacar: a função básica que é trabalhar como uma estrutura de engenharia, e também a de satisfazer todos os requisitos tidos como funcionais. Dessa maneira, é fundamental que o pavimento seja composto por materiais

de qualidade e que tenham espessura suficiente, de forma que suportem as cargas que lhes são aplicadas. O autor salienta ainda que, a nível funcional, o pavimento tem como objetivo garantir que os transeuntes tenham uma viagem tranquila e segura, mantendo, assim, a sua integridade, e resistindo as tensões de superfícies tanto horizontais como as verticais.

Neste sentido Balbo (2009), complementa que a principal função de um pavimento é transmitir cargas para a sub-base e solo subjacente. Os pavimentos flexíveis que têm em sua composição areia e cascalho ou brita compactada, agregados com um aglutinante de material betuminoso, como asfalto, alcatrão ou óleo asfáltico, possuem plasticidade suficiente para absorver o choque. Alguns pavimentos são feitos de concreto, e compostos de agregado grosso e fino e cimento *portland*, e geralmente reforçado com haste de aço ou malha, como é o caso do pavimento rígido (BALBO, 2009).

Um pavimento rodoviário é uma estrutura composta por camadas sobrepostas de materiais processados acima do subleito natural do solo, cuja principal função é distribuir as cargas do veículo em movimento. A estrutura do pavimento deve ser capaz de: fornecer uma superfície de qualidade aceitável, resistência à derrapagem adequada, características refletoras de luz favoráveis e baixa poluição sonora (GONÇALVES, 2007).

O objetivo final é garantir que as tensões, transmitidas devido à carga do rodado, sejam suficientemente reduzidas, de modo que elas não excedam a capacidade de carga do subleito. Segundo Balbo (2009, p. 37), as principais funções de um pavimento são: fornecer uma superfície razoavelmente líquida; proporcionar fricção de superfície adequada; proteger o sub-base e fornecer impermeabilização.

De acordo com Gonçalves (2007, p. 58), dois tipos de pavimentos são geralmente reconhecidos como servindo ao propósito acima exposto, chamados de pavimentos flexíveis e pavimentos rígidos. Além do mais, precisa-se ressaltar que o *design* inadequado dos pavimentos leva a uma falha prematura dos pavimentos que afetam a qualidade da pilotagem dos veículos. Segundo Balbo (2009, p. 79), os requisitos de um pavimento ideal são os seguintes: Espessura suficiente para distribuir as tensões da carga da roda a um valor seguro no solo de subclasse estruturalmente forte para resistir a todos os tipos de estresse impostos a ele; coeficiente de atrito adequado para evitar derrapagens de veículos; superfície lisa para proporcionar conforto aos

usuários da estrada, mesmo em alta velocidade; longa vida útil com baixo custo de manutenção.

O sistema de malha viária, no Brasil, indica que há um grande atraso em obras de manutenção da pavimentação viária brasileira, onde mais de 48% das estradas do país são pavimentadas, e dos quais 21% delas, os revestimentos asfálticos apresentam trincas, buracos, ondulações e afundamentos, o que gera a necessidade de reparos por meio de manutenção corretiva (CNT, 2016).

No Brasil, os pavimentos asfálticos frequentemente têm seu comportamento comprometido em função do crescente volume de tráfego de veículos e do excesso de peso nas cargas que são transportadas, o que desencadeia deterioração prematura e, por consequência, em aumento nos custos dos transportes (COELHO, 2013).

2.1.2 Tipos de Pavimentos

Di-Giulio (2007) ressalta que a construção civil é caracterizada pela modificação da paisagem. Assim, diversos são os materiais utilizados na pavimentação e que constantemente, e ao longo dos anos, tem sofrido modificações, objetivando-se uma melhor adequação para as atuais necessidades, assim como, garantindo uma maior durabilidade, resistência, qualidade e redução de custos em uma obra.

Assim, observa-se que o desempenho de um pavimento está diretamente relacionado a um amplo conjunto de fatores que se constituem como a propriedade física, mecânica e química do pavimento (SANCHES, 2012).

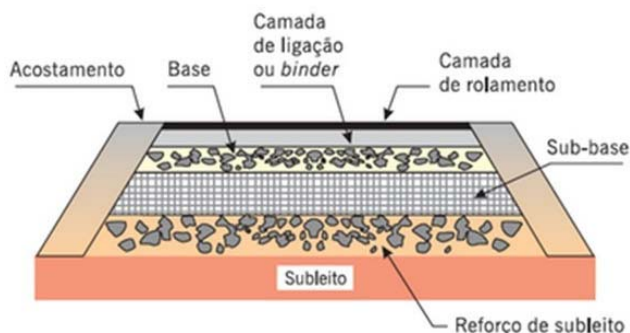
De acordo com o DNIT (2006), os pavimentos rodoviários modernos são classificados de acordo com a rigidez de sua estrutura em: flexíveis, semirrígidos e rígidos. Os pavimentos flexíveis são aqueles que sofrem uma deformação elástica significativa em todas as suas camadas quando submetidos a um esforço. Os pavimentos semirrígidos são caracterizados por possuir em sua composição uma base com algum aglomerante cimentício, o que cria uma camada rígida, que é revestida com uma camada asfáltica. Assim, observa-se que os pavimentos, que são chamados de rígidos, têm composição de uma placa de concreto de cimento Portland, armada ou não, que é sobreposta a uma camada de sub-base. Dessa maneira, os pavimentos rígidos se caracterizam por ter um aumento da rigidez em relação às camadas inferiores, absorvendo quase todas as tensões provenientes dos esforços aplicados.

Pavimentos flexíveis são compostos por camadas granulares e revestimento em mistura asfáltica, que possuem a capacidade de suporte, em função das características de distribuição de cargas que acontecem por um sistema de camadas superpostas (granulares e de solos), em que aquelas com maior rigidez encontram-se mais próximas da carga aplicada (DNIT, 2006). Englobam-se, ainda, os pavimentos constituídos por revestimento de blocos intertravados de concreto de cimento Portland (pavers) com rejunte de areia e o pavimento de alvenaria poliédrica.

2.1.3 Pavimento Flexível

O pavimento flexível, tendo menos resistência à flexão, atua como uma folha flexível. Pelo contrário, em pavimentos rígidos, as cargas e rodas são transferidas para solo de subleito pela resistência à flexão do pavimento e o pavimento age como uma placa rígida (por exemplo, estradas de concreto de cimento) (GONÇALVES, 2007). Em suma, é uma mistura de agregados com ligante asfáltico, formado pelas seguintes camadas: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito, conforme indica a Figura 2. Caso haja um trânsito de baixa intensidade ou a presença de materiais com alto índice de suporte, algumas camadas poderão não ser necessárias.

Figura 2 – Pavimento flexível



Fonte: Inovacivil, (2015)

O asfalto (especificamente concreto betuminoso), às vezes chamado de pavimento - devido à natureza na qual ele distribui as cargas, tem sido amplamente utilizado desde a década de 1920. A natureza viscosa do aglutinante de betume permite que o concreto asfáltico sustente uma deformação plástica significativa, embora a fadiga de cargas repetidas ao longo do tempo seja o mecanismo de falha mais comum (BALBO, 2009).

A maioria das superfícies de asfalto são colocadas sobre uma base de cascalho

que, geralmente é menos espessa quanto à camada de asfalto, embora algumas superfícies de asfalto de profundidade total sejam colocadas diretamente no subleito nativo. Em áreas com sub-níveis muito expansivos, como argila ou turfa, podem ser necessárias bases grossas de cascalho ou estabilização do subleito com cimento *Portland* ou cal (GONÇALVES, 2007).

O asfalto misturado a quente é aplicado a temperaturas superiores a 150 °C, com uma mesa flutuante livre. O asfalto misto é aplicado a temperaturas de 95 a 120 °C, resultando na redução do uso de energia e na emissão de compostos orgânicos voláteis. O asfalto misto a frio é frequentemente usado em estradas rurais de menor volume, cujo asfalto morno esfriava demais na longa viagem da usina de asfalto para o canteiro de obras (BERNUCCI; MOTTA; CERATTI, 2010).

Uma superfície de concreto asfáltico geralmente é construída para rodovias primárias de alto volume, com uma carga de tráfego diária média anual superior a 1200 veículos por dia. As vantagens das estradas de asfalto incluem ruído relativamente baixo, custo relativamente baixo comparado com outros métodos de pavimentação, percebendo-se a facilidade de reparo (BALBO, 2009).

As desvantagens incluem: menor durabilidade do que outros métodos de pavimentação, menor resistência à tração do que o concreto, a tendência de se tornar escorregadio e macio em climas quentes; e uma certa quantidade de poluição por hidrocarbonetos no solo, nos lençóis freáticos ou cursos d'água (GONÇALVES, 2007).

2.1.3.1 Concreto Betuminoso Usinado a Quente – CBUQ

O asfalto líquido – uma substância preta pegajosa – é usado como material de ligação em pavimentos de asfalto. É de natureza viscosa e também pode ser encontrado em formas semissólidas (BALBO, 2007).

O pavimento, uma vez misturado, consiste em 90% a 95% de agregado e areia e 5% a 10% de asfalto. Os pavimentos asfálticos de alta viscosidade ligam os materiais que compõem o asfalto, enquanto permitem reter simultaneamente a flexibilidade do mesmo (MEDINA; MOTTA, 2015).

Quanto mais fria a superfície do asfalto, menos flexível o pavimento total. Essa flexibilidade encontrada no pavimento asfáltico é uma de suas maiores forças, permitindo que a superfície se adapte às mudanças nas condições produzidas pelo clima

e à superfície em constante mudança abaixo dela (PINTO; PINTO, 2015).

Além do mais, de acordo com Balbo (2007, p. 50), isso é importante porque a água, como se sabe, é apontada por muitos como o maior inimigo da superfície do asfalto (OLIVEIRA; ANDRADE; LAPERCHE, 2014).

Note-se que, antes da aplicação do pavimento asfáltico, ocorre uma grande movimentação para o preparo do local. De fato, a menos que o asfalto esteja sendo colocado sobre o asfalto existente (sobreposição), é a preparação do solo sob o pavimento que é o fator mais influente na vida útil de uma superfície de pavimento asfáltico (MEDINA; MOTTA, 2015).

Antes que a pintura de ligação possa ser aplicada à superfície (especialmente se já houver uma superfície asfáltica), primeiro, deve ser prepará-la pulverizando-se uma fina camada de emulsão asfáltica (aderência a quente), usando-se um caminhão espargidor-distribuidor de emulsão asfáltica. Isso ajuda a superfície recém-pavimentada a criar uma ligação maior entre ela e a superfície abaixo dela (BALBO, 2007).

Quando a mistura chega ao local da construção, ela é assentada por uma vibro - acabadora de asfalto e compactada usando-se rolos de asfalto. Fora da colocação correta do asfalto, a qualidade final do pavimento depende fortemente da qualidade da mistura e da sua compactação. Para tanto, métodos de rolamento adequados devem ser usados para garantir a compactação adequada (ISAIA, 2010).

É necessário um mínimo de 24 horas para que a mistura de asfalto se solidifique, antes de poder ser usada. Se não for permitido tempo suficiente para a solidificação, isso resultará em um pavimento de baixa qualidade. A mistura de asfalto deve ser bem compactada usando-se os rolos de peso certos, e dependendo da espessura da entrada de veículos (CUNHA, 2004).

2.1.4 Pavimento Poliédrico

O pavimento poliédrico, conforme mostra a Figura 3, usa pedras para construir superfícies planas e facilmente acessíveis para passarelas, pátios, calçadas e decks de piscina. Para isso, geralmente usam-se pedras quadradas ou em retângulos. Ao contrário do pavimento de concreto e de tijolos, no pavimento poliédrico nem sempre á tamanhos idênticos (BURAK, 2002).

De acordo com Senço (2007), considerado de extraordinária durabilidade, o

pavimento em alvenaria poliédrica pode ser reaproveitado com modificações da face que é exposta ao rolamento.

Figura 3 - Pavimento poliédrico.



Fonte: Minas Gramados, (2018)

De tal modo, de acordo com Godinho (2009, p. 39), e como as pedras são cortadas de pedreiras e não feitas de moldes como outros pavimentos, há mais variações de tamanho, textura e cor. Essas variações geralmente aumentam a beleza desse tipo de pavimentação.

A pavimentação poliédrica é um recurso que visa valorizar uma propriedade, e reduzir despesas com manutenção, com grande vida útil. Trata-se de uma solução ideal quando se pensa na relação custo/benefício e sustentabilidade (LIMA, 2003).

Pode-se dizer que existem muitos tipos de pavimentos poliédricos, pois quase qualquer tipo de rocha pode ser utilizado em pavimento poliédrico. Por isso, os tipos mais comuns são: bluestone; calçada portuguesa; travertino. Esses três tipos de pavimento poliédrico podem ser vistos em diversas regiões do planeta, mesmo que o material em si não seja natural para uma determinada região. Dependendo da região, também pode haver opções locais (GODINHO, 2009).

Por exemplo: Caso se esteja em uma região com muito calcário, provavelmente poderá se usar esse material em projetos de pavimento poliédrico. Ou, caso se esteja em uma região rica em granito, haverá mais produtos de granito disponíveis (BURAK, 2002).

O pavimento poliédrico se mostra esteticamente mais agradável com variações naturais de cor e textura, normalmente encontradas nesses produtos que agregam beleza natural. Eles são também um dos materiais mais duráveis disponíveis, usados na pavimentação de pedra desde tempos remotos. Algumas estradas romanas pavimentadas

com esse material ainda podem ser vistas hoje (LIMA, 2003).

Com muitos pavimentos poliédricos diferentes no mercado, existem inúmeras opções de design. Os pavimentos poliédricos existem em vários tamanhos, cores, formas e texturas, e podem ser instalados em vários padrões diferentes conforme, mostra a Figura 4, fornecendo assim muitas opções para o projeto (BURAK, 2002).

Figura 4 - Pavimento poliédrico em construção.



Fonte: Prefeitura de Palotina, (2019).

Dentre as inúmeras vantagens do pavimento poliédrico, pode-se ressaltar a composição da camada de rolamento pela alvenaria poliédrica que atua de maneira ampla no que se refere à distribuição das cargas de tráfego e atuação das intempéries. Sendo assim, é fundamental que seja feito o dimensionamento adequado das camadas que deverão suportar as cargas oriundas do tráfego, para a obtenção de um pavimento adequado ao uso final.

No entanto, a viabilidade de aplicação desse revestimento, deve levar em consideração a economia e a disponibilidade de material e, para assim, contribuir de maneira eficiente, a partir de uma análise econômica e com dimensionamento adequado.

CAPÍTULO 3

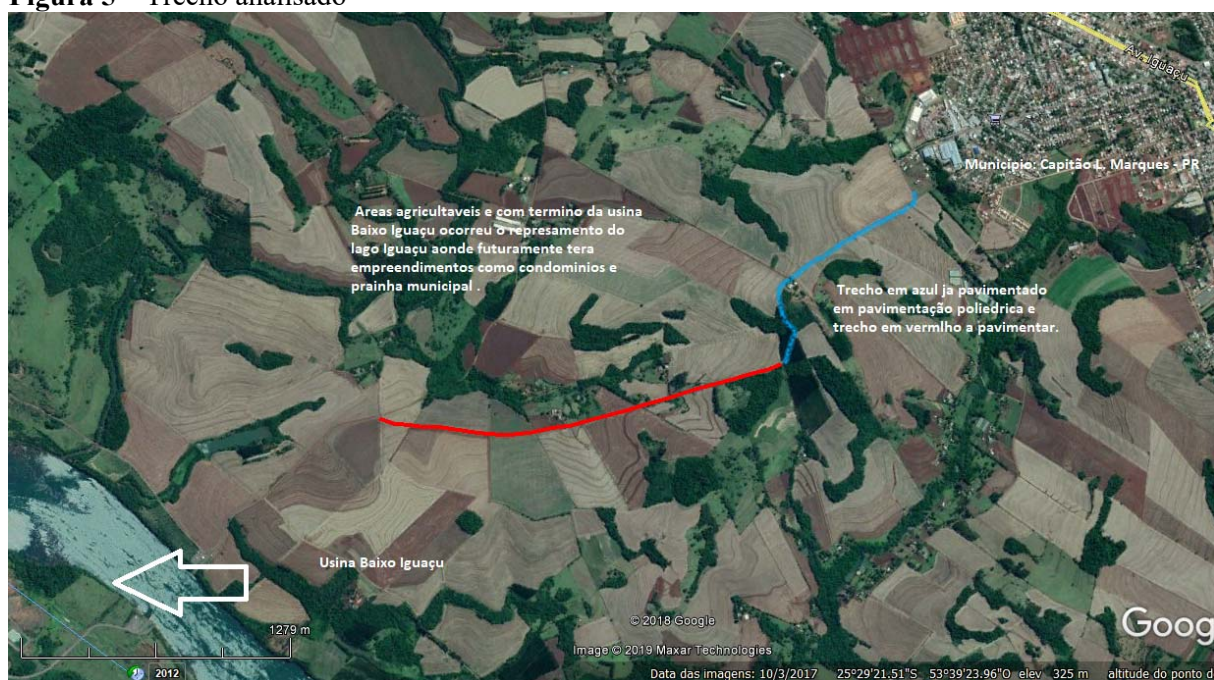
3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE ESTUDO E LOCAL DE PESQUISA

A abordagem usada nesta pesquisa foi a qualitativa, em que se buscou apresentar a coleta de informações para, posteriormente, serem expostas e analisadas, além da observação do ambiente, com a preocupação de coletar e atentar para uma maior quantidade de elementos (KOCHE, 2016), objetivando-se, assim, um entendimento maior e mais profundo do problema trabalhado. (LAKATOS; MARCONI, 2010).

O objeto de estudo está localizado no município de Capitão Leônidas Marques, região Oeste do Estado do Paraná. O trecho de rodovia estudado acha-se localizado no município, perfazendo um trecho de aproximadamente 2,1 quilômetros. A Figura 5, a seguir, apresenta o trecho analisado.

Figura 5 – Trecho analisado



Fonte: Google Earth Pro (2019)

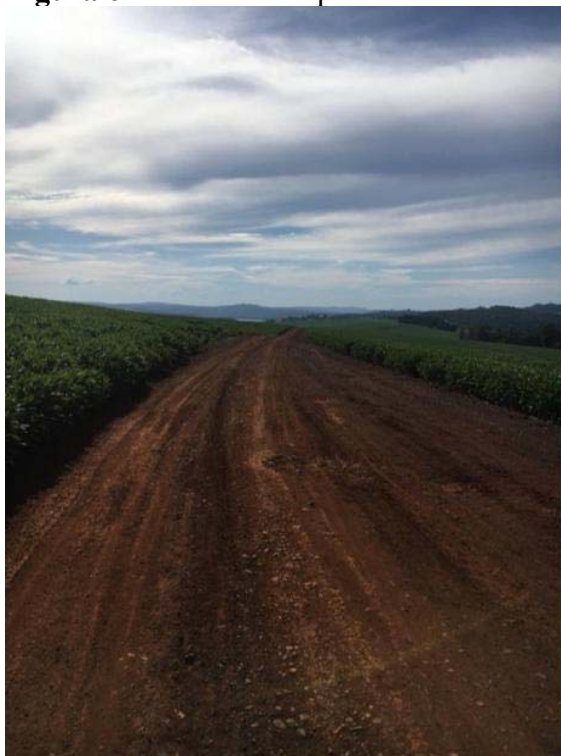
A cidade de Capitão Leônidas Marques encontra-se a 65 km da cidade de Cascavel, município com 15.659 habitantes, cuja principal fonte de arrecadação é a agricultura, seguida da indústria e comércio. No município há duas usinas hidrelétricas

conhecida por: Usina Hidrelétrica Salto Caxias e Usina Hidrelétrica Baixo Iguaçu, o qual também, faz divisa com o Parque Nacional o Iguaçu seu IDH é 0,751 e o PIB R\$ 592.985,620 mil.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

A amostra deste presente estudo se constitui do emprego de um solo argiloso laterítico oriundo do trecho estudado de acordo com a Figura 6. Buscou-se caracterizar a camada de subleito e o material utilizado nas camadas de assentamento, onde comumente é empregado o mesmo material ou similar ao material do subleito. O trecho estudado é composto por 2,1 km, cujo local se encontra sem pavimentação alguma. Há apenas a estrada sobre cascalho, e recebe um intenso fluxo de veículos pesados em razão da produção de grãos em safras agrícolas da região, ocasionando a necessidade de boa pavimentação.

Figura 6 – Via rural e tipo de solo



Fonte: Autor, (2019).

Para dimensionamento dos pavimentos, foi necessário encontrar a resistência do subleito através de ensaios em laboratório, para aplicar os devidos resultados encontrados com os ensaios em fórmulas, e a partir dos resultados obtidos saber quais

serão as espessuras das camadas de sub-base e base acima do subleito. Para isso realizaram-se os ensaios de Proctor e ISC, para o dimensionamento adequado dos pavimentos.

3.3 COLETA DE AMOSTRAS

A coleta de amostras foi realizada em um ponto da via, coletando-se aproximadamente, 40 kg a uma profundidade de 0,80 metros e armazenados em sacolas plásticas. As amostras foram extraídas com o auxílio de enxada, pá de mão, picareta e cavadeira reta. Feita a realização da coleta, o material foi levado ao laboratório para realização dos ensaios de Proctor e Índice de suporte Califórnia (ISC), para a determinação das espessuras das camadas para o pavimento flexível e poliédrico.

3.4 ENSAIOS

Foram realizados dois ensaios em laboratório: O ensaio de Proctor e o ensaio ISC. O ensaio de Proctor, conforme a NBR 7182 (2016), é um método de laboratório para determinar experimentalmente o teor ideal de umidade no qual um determinado tipo de solo se tornará mais denso e atingirá sua densidade seca máxima.

O ensaio de Índice Suporte Califórnia, baseado na norma ABNT NBR 9895:2016, foi realizado seguindo a definição da relação que existe entre a pressão necessária para adentrar um pistão cilíndrico padronizado sob um corpo de prova de um verificado solo e a pressão para realizar a penetração com o pistão sob uma brita graduada padrão, ou seja, sendo feita a determinação que existe na relação entre a pressão necessária para a produção de uma penetração de um pistão num corpo de prova de solo, e a pressão necessária para realizar a mesma penetração em uma mistura padrão de brita que está estabilizada granulometricamente.

3.4.1 Ensaio de Proctor

O ensaio de Proctor realizou-se por meio da compactação de uma amostra de solo dentro de um recipiente cilindro buscando-se a redução do volume de vazios do solo, seguindo-se a metodologia padronizada pelo DNER.

De acordo com Torresgeotecnia (2019), a realização da compactação é a realização da estabilização e melhoria do solo por meio de um processo manual ou mecânico, com o objetivo de redução do volume de vazios do solo. Assim, a compactação tem em vista estes dois aspectos: aumento da proximidade de contato que ocorre entre os grãos e possibilitar que o aterro tenha mais homogeneidade, o que melhora as suas características de resistência, assim como a deformabilidade e permeabilidade.

Utilizou-se a norma NBR 7182 (2016), a fim de se reproduzirem as condições de umidade próxima dos processos de compactação de solos no campo, por meio da energia do ensaio de compactação Proctor normal.

A aplicação da NBR 7186 (2016) consiste na aplicação de certa energia de compactação, em que a massa específica resultante é função da umidade em que o solo estiver. A norma ressalta que quando a compactação do solo com umidade baixa, é muito alto o atrito as partículas e não ocorre uma significativa redução de vazios (NBR 7182 2016).

3.4.1.1 Procedimentos

Conforme a NBR 7182 (2016), as energias de compactação, possíveis de serem utilizadas conforme norma, são: normal, intermediária e modificada. A partir do processo de destorroamento, o solo passou a amostra na peneira 4,8 mm e, na sequência, usou-se a energia de compactação normal por ser a mais aplicada em subleito de pavimentos e terraplanagens, demonstrada em artigos acadêmicos.

Iniciou-se a realização do ensaio, acrescentando-se água até que o solo ficasse com cerca de 5% de umidade abaixo da umidade ótima. Em seguida, o solo foi colocado em um cilindro padrão (10cm de diâmetro, altura de 12,73cm, volume de 1.000cm³) conforme a Figura 7, e submetida a 26 golpes de um soquete com massa de 2,5kg e caindo de 30,5cm.

Na realização desse ensaio, observou-se que o solo compactado ocupou cerca de um terço da altura do cilindro. Dessa maneira, o processo foi repetido mais duas vezes, até que fosse atingido uma altura um pouco superior à do cilindro, que foi possibilitado por um anel complementar. Em seguida, o excesso do volume foi raspado, determinando-se a massa específica do corpo de prova obtido. Com uma amostra de seu

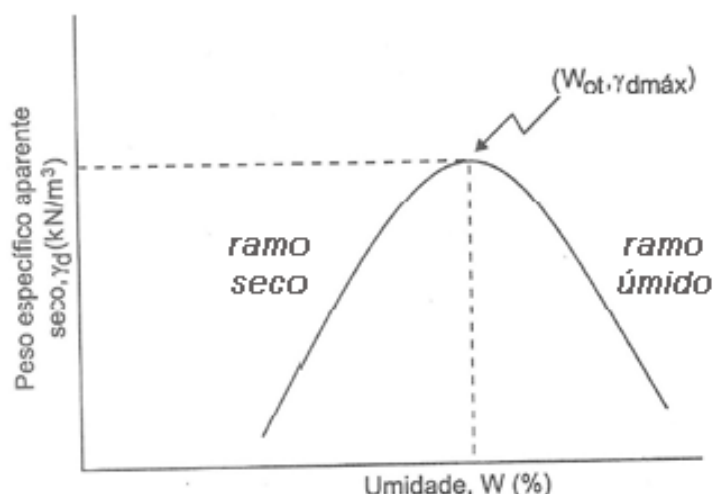
interior, determinou-se a umidade com esses dois valores e foi calculada a densidade seca (NBR 7182 2016).

Figura 7 - Ensaio Proctor



Fonte: O autor, (2019)

Conforme se observa na Figura 8, após a obtenção dos dados, traçou-se a curva de compactação, que foi consistida na representação da densidade seca em função da umidade, geralmente, associando-se a uma reta aos pontos ascendentes do ramo seco, outra aos pontos descendentes do ramo úmido e unindo-se as duas por uma curva parabólica. A realização desse procedimento foi realizada, visando-se a definição da curva de uma densidade seca máxima, a qual deverá ser correspondente a uma umidade ótima (NBR 7182, 2016).

Figura 8 – Curva de compactação.

Fonte: Escola engenharia, (s/d).

Segundo normas e manuais do DNIT, a denominação do ramo ascendente da curva de compactação é realizada pelo ramo seco, e o ramo descendente de ramo úmido. No ramo ascendente, a água deve lubrificar as partículas e facilitando, assim, o arranjo destas, o que ocorre por essa razão, com o acréscimo da massa específica aparente seca. Por outro lado, no ramo descendente, a água deve amortizar a compactação, e a amostra, tendo mais água que sólidos, levando a um decréscimo da massa específica aparentemente seca.

3.4.2 Ensaio de Índice Suporte Califórnia (ISC)

O Ensaio de Índice Suporte Califórnia, baseado na norma DNIT 172 (2016), é definido pela relação entre a pressão necessária para adentrar um pistão cilíndrico padronizado em um corpo de prova de um verificado solo e a pressão necessária para penetrar o mesmo pistão em uma brita graduada padrão (DONISETE, 2016).

Nesse sentido, Donisete (2016) define que ISC expressa a relação entre a resistência à penetração de um cilindro padronizado sob uma amostra do solo compactado e a resistência do mesmo cilindro em uma pedra britada padronizada. Dessa maneira, a realização desse ensaio possibilita, também, obtendo assim um índice de expansão ou contração do solo durante o período de saturação por imersão do corpo-de-prova noventa e seis horas.

3.4.2.1 Procedimentos

O procedimento foi realizado com a energia normal, a mesma adotada para o ensaio de compactação (Proctor), correspondente à energia desejada, normal. DNIT (2016) salienta que é comum moldar no mínimo cinco corpos de prova, em que irá variar o teor de umidade para que seja possível caracterizar a curva do ISC.

Para se realizar a determinação da expansão, realiza-se, após a moldagem do corpo de prova, a obtenção dos valores, em que o conjunto já preparado para o ensaio, será imerso em água por um tempo de 4 dias a fim do solo entrar em seu estado de saturação. Durante esse tempo, é feita a medição da expansão registrada no extensômetro acoplada ao corpo de prova, a cada 24 horas (DNIT 2016).

Após a determinação da expansão, é feita a retirada do corpo de prova que, após o período de imersão, deverá ser levado para a prensa, em que será rompido por meio da penetração de um pistão cilíndrico, com uma velocidade constante. Sendo utilizado um anel dinamômetro na prensa, registra-se os valores de deformação que, de acordo com a curva de calibração do equipamento, foram convertidos em cargas (kgf) conforme Anexo A e, na sequência, em pressão do pistão exercida sobre o solo nos tempos de norma. (DNIT, 2016).

Para o cálculo, foram adotadas as pressões lidas entre as penetrações de 2,54 e 5,08 mm, cujo resultado é determinado pela Equação 1. Pressão lida ou pressão corrigida: Pressão correspondente às leituras do anel no gráfico de aferição do mesmo, pressão padrão: correspondente a uma pressão necessária para obter o deslocamento em um determinado tipo de pedra britada que apresenta Índice de Suporte Califórnia de 100%, em que as unidades das pressões são lidas em mega pascal.

$$ISC (\%) = \frac{PRESSÃO \text{ LIDA OU } PRESSÃO \text{ CORRIGIDA} \cdot 100}{PRESSÃO \text{ PADRÃO}}$$

A pressão padrão na brita dada é 45,2 e 65,5 kPa para as penetrações de 2,54 e 5,08 mm respectivamente. Considera-se o resultado final, aquele que obtiver o maior valor de ISC (DONISETE, 2016).

É importante observar que a leitura (um) é diretamente proporcional ao tempo e à penetração. Os valores referentes ao ISC da amostra são apresentados no ensaio ISC. Os valores obtidos nas penetrações 2,54 mm e 5,08 mm são referentes às recomendações das normas e manuais do DNIT (2016), em que deve ser adotado o maior dos valores.

Figura 9 - Ensaio ISC.



Fonte: O autor (2019).

3.5 DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS

3.5.1 Dimensionamento do Pavimento Poliédrico

Para a realização do dimensionamento do pavimento poliédrico, as cargas aplicadas sobre um bloco de pedra foram integralmente transmitidas ao subleito por meio das camadas intermediárias que poderiam existir. De acordo com Mineropar (1983), em razão da descontinuidade física que ocorre entre um bloco e outro, não ocorre uma transmissão lateral, mesmo do evento de rejuntamento entre as peças, motivo pelo qual ao paralelepípedo não ser atribuído valor estrutural, sendo, teoricamente, considerado apenas um revestimento.

Assim, as saliências e reentrâncias das faces laterais, bem como o atrito gerado pelo material de rejuntamento, não são efetivamente considerados para a realização do cálculo, em que se refere à distribuição tangencial das cargas aplicadas sobre o bloco e retransmitidas ao subleito imediatamente abaixo. (MINEROPAR, 1983).

Dessa forma, a descontinuidade entre os blocos rígidos de pedra, de dimensões médias e pequenas, deverá garantir um comportamento semiflexível que aceita grandes deformações (MINEROPAR, 1983).

3.5.2 Cálculo da Espessura do Pavimento Poliédrico

A determinação da espessura dos pavimentos, construídos em pedra, sempre foi uma questão essencialmente prática. Nesse sentido, a experiência em cada região, de características de solos e clima próprias, é que deve permitir, depois de mais de uma centena de anos em emprego sistemático desses pavimentos, que se estabeleçam relações empíricas entre o tráfego, o tipo de solo do subleito e a espessura total do pavimento. (MINEROPAR, 1983).

A associação de alguns conceitos teóricos, com a observação de pavimentos, cujo comportamento em nada se pode criticar, é que emprestam um grau de aceitação bastante bom ao que prescrevem as Normas Rodoviárias nº 71 do DER/SP, as quais fixam em 23 cm, no mínimo, a soma das espessuras da base de areia e do revestimento de pedra. (MINEROPAR, 1983)

A experiência no Estado do Paraná revela que as Normas Rodoviárias nº 71 propõem uma alternativa mais próxima das necessidades práticas dos pavimentos em pedra, que poderão vir a ser construídos, principalmente locais urbanos. (MINEROPAR, 1983).

Adotando o valor de 23 cm como fixo, e aplicando Equação 2 do ISC indicada no manual Mineropar e assumindo ainda que a carga, por roda, de 6 toneladas, abrangendo, praticamente, todas as possibilidades de tráfego. (MINEROPAR, 1983).

$$ISC = \frac{100 + (150 * \sqrt{P})}{ep}$$

Onde:

ISC: Índice de Suporte Califórnia do subleito, em %

ep: espessura do pavimento, em cm

P: carga por rodas, em toneladas

Desse resultado, conclui-se que se o subleito tiver um suporte menor que 15,3%,

a espessura total do pavimento será maior que 23cm. (MINEROPAR, 1983). Se o subleito tiver um ISC maior que 15,3%, utiliza-se a Equação 3 para obter o resultado da espessura do pavimento.

$$e_p = \frac{100 + 130 * \sqrt{ISC}}{ISC + 5}$$

Se o ISC obtido for menor que 15,3 %, essa situação se resolve com a execução de uma sub-base ou reforço do subleito, na espessura exigida pelo dimensionamento, cujo ISC será necessariamente superior a 15,3%.

3.5.3 Dimensionamento do Pavimento Asfáltico

Para o dimensionamento do determinado pavimento, foi necessário descobrir o tráfego de veículo que circulam na via para obter o número N e, assim, foi feito o cálculo do volume médio diário de tráfego (Vm), utilizando a Equação 4 segundo DNIT, 2006.

$$V_m = \frac{V_1 \left[2 + \frac{(P+1)t}{100} \right]}{2}$$

Onde:

V_m: volume médio de tráfego

V₁: volume médio de tráfego no ano de abertura da via (veículos)

P: período de tempo (anos)

t: taxa de crescimento anual

Obtendo-se o volume médio diário, é possível determinar o volume de tráfego (V_t) pela Equação 5 segundo (DNIT 2006).

$$V_t = 365 * P * V_m$$

Onde:

V_t: volume de tráfego durante um período (veículos)

P: período de tempo (anos)

V_m: volume médio de tráfego (veículos/dia)

Após, conhecido V_t, foi calculado N, que é o número equivalente de operações do eixo simples padrão que ocorre durante o período de projeto e o parâmetro de tráfego usado no dimensionamento conforme Equação 6.

$$N = V_t \cdot FV$$

Onde:

N: número de operações de um eixo padrão

V_t: volume de tráfego durante um período (veículos)

FV: fator veículos, $FV = FE \times FC$

FE: Fator de eixos

FC: fator de carga

De acordo com o cálculo de espessura do revestimento, emprega-se a Tabela 1, que traz a relação do número N e o valor de espessura mínima a ser utilizada na construção do pavimento da via em particular.

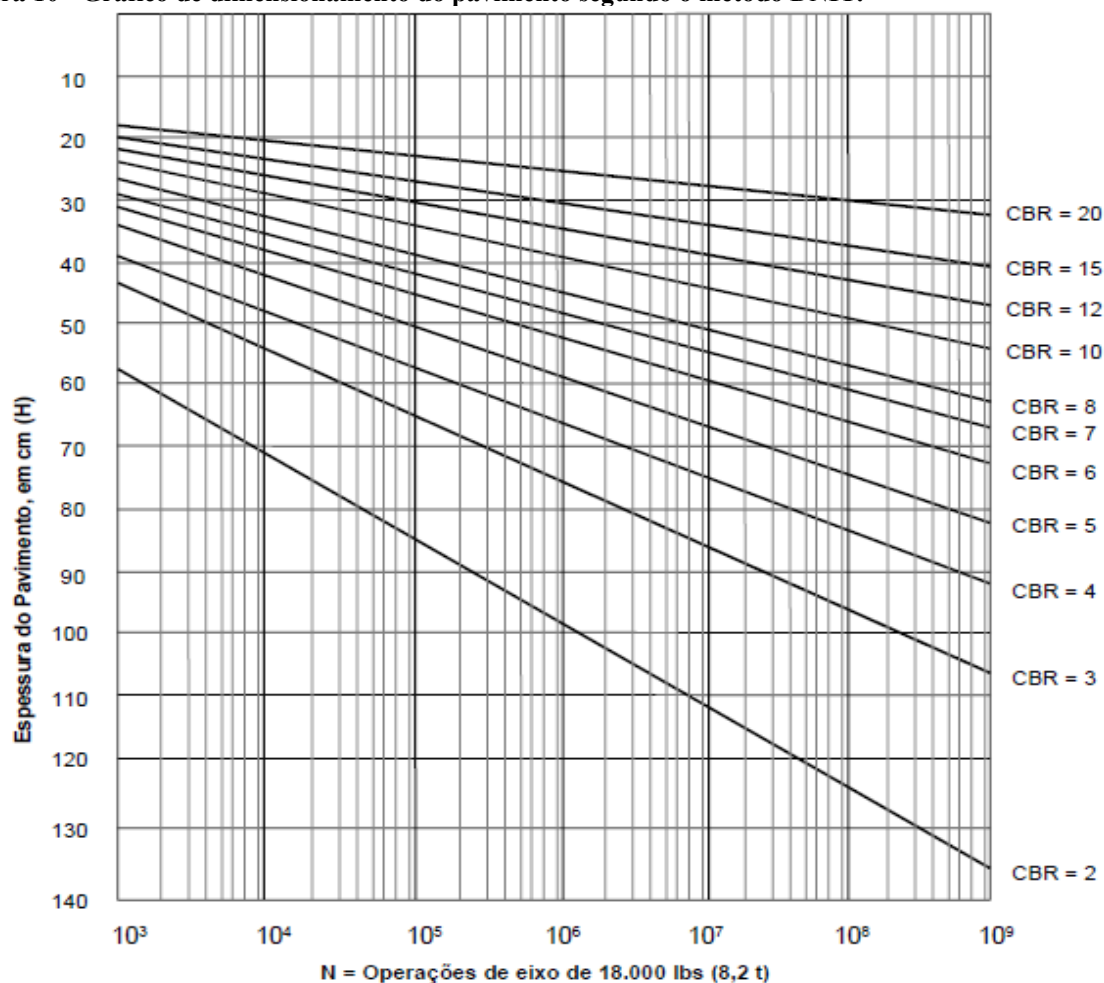
Tabela 1 - Relação entre o número N e as espessuras mínimas de revestimentos

N	Espessura mínima de revestimento betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: DNIT (2016)

Para determinar o dimensionamento da espessura do subleito, sub-base e base, utiliza-se um ábaco, conforme a Figura 10, a fim de se extraírem as espessuras das camadas, lembrando sempre que o DNIT (2006) especifica ISC mínimos para subleito, sub-base e base.

Figura 10 - Gráfico de dimensionamento do pavimento segundo o método DNIT.



Fonte: DNIT (2016)

Pela identificação a espessura total do pavimento, realizou-se a determinação do coeficiente de equivalência (k), cujo coeficiente assume contornos de uma constante a determinar, para cada camada em particular do pavimento, em razão do tipo de material empregado e da camada adotada. A Tabela 2 apresenta os coeficientes estruturais.

Tabela 2 - Coeficientes estruturais.

Componentes do pavimento	K
Base ou revestimento de concreto asfáltico	2,0
Base ou revestimento de pré-mistura a quente, de graduação densa	1,7
Base ou revestimento de pré-misturado a frio, de graduação densa	1,4
Base ou revestimento asfáltico por penetração	1,2
Camadas granulares	1,0

Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias > 45 kgf/cm ²	1,7
Idem, com resistência à compressão a 7 dias entre 45 e 28 kgf/cm ²	1,4
Idem, com resistência à compressão a 7 dias entre 28 e 21 kgf/cm ²	1,2
Bases de Solo-Cal	1,2

Fonte: DNIT (2016)

Após a determinação das espessuras H_m , H_n e H_{20} , como apresentadas na Figura 11 e R pela a Tabela 2, a espessura de base (B), sub-base (h_{20}) e subleito (h_n), foram obtidos pela Equação 7, 8 e 9.

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B \geq H_{20}$$

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B + h_{20} \cdot K_s \geq H_n$$

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B + h_{20} \cdot K_s + h_n \geq H_m$$

Onde:

R: Revestimento

K_R : Coeficiente de equivalência estrutural do revestimento

B: Espessura da base

K_B : Coeficiente de equivalência estrutural da base

H_{20} : Espessura de pavimento sobre sub-base

h_{20} : Espessura da sub-base

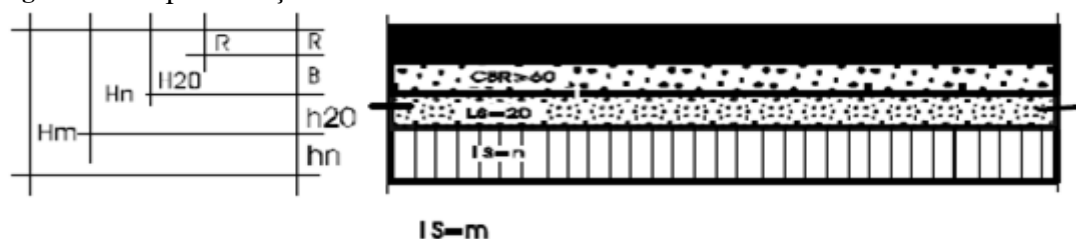
H_n : Espessura do subleito

K_s : Coeficiente de equivalência da sub-base

h_n : Espessura do reforço do subleito

H_m : Espessura total do pavimento necessário para proteger um material com ISC igual a m.

Figura 11 - Representação das camadas



Fonte: DNIT 2016.

3.5.4 Quantitativo de Materiais

O quantitativo de material foi calculado após o dimensionamento da via, no levantamento do quantitativo, levando-se em consideração toda a parte de material que compõe a construção dos pavimentos. No pavimento poliédrico, aplicam-se pedras britadas ou cortadas por processo manual, e aplicadas como revestimento na área da base areia ou pó de pedra. No rejunte das pedras pode ser aplicado argila, pó de pedra ou areia, já no método construtivo de pavimentação asfáltica. Em sua sub-base, aplica-se rachão na base brita graduada e no seu revestimento CBUQ. A comparação de quantitativo de material será demonstrada através de planilhas e analisando qual método se tem um menor consumo de material para se comparar qual se torna mais viável.

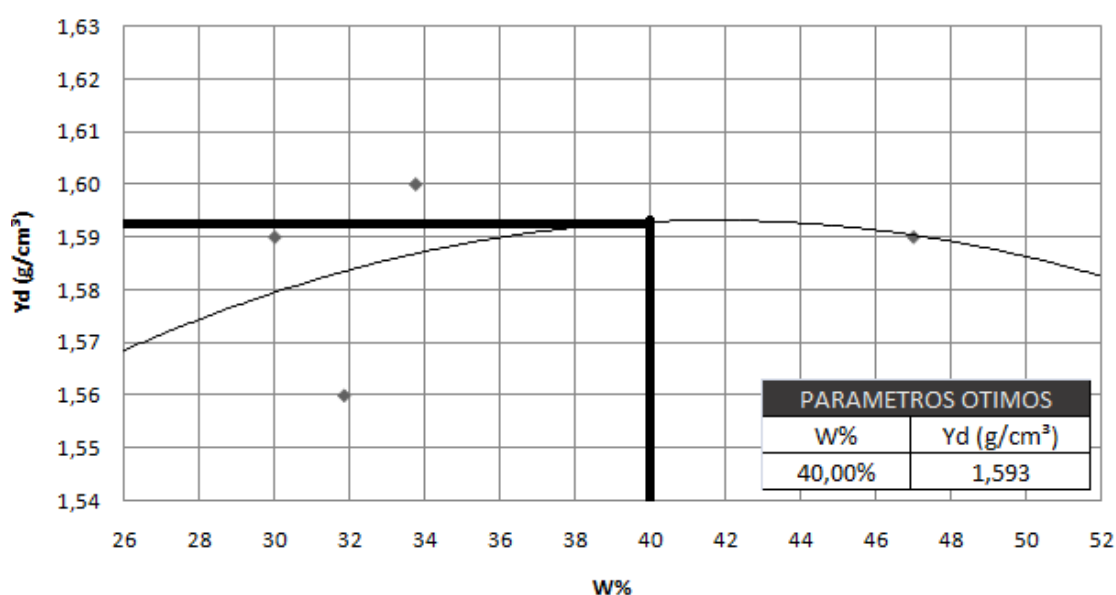
CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.1 Ensaio de Compactação

A realização do ensaio de compactação teve o intuito de encontrar a umidade ótima de compactação do material, pelo qual é possível se obter, também, a densidade seca máxima do material. A obtenção dos resultados, por meio do ensaio realizado na energia Proctor normal, demonstrou que a umidade ótima do solo analisado é de 40%. E a massa específica aparente seca máxima corresponde a $1,59 \text{ g/cm}^3$ conforme apresenta Figura 12.

Figura 12 – Curva de compactação com resultados obtidos



Fonte: Autores (2020)

4.1.2 Ensaio de ISC

Com o teor de umidade definido no ensaio de Proctor, foi moldado o corpo de prova com o cilindro grande, mais o soquete grande com 26 golpes para cada uma das três camadas.

No ensaio de ISC, inseriram-se uma haste de expansão, um extensômetro fixo ao

tripé porta-extensômetro, colocado na borda superior do cilindro e destinado a medir a expansão ocorrida, inserido, também o cilindro dentro de uma bacia de água submerso até a parte superior do cilindro e acompanhado-se o extensômetro por 96 horas (quatro dias), como apresenta a Figura 13. A expansão que o solo apresentou, nas 96 horas foi de 0,16 mm e em porcentagem valor de 0,08%, aceito pela norma do DNIT (2006), que determina uma expansão até 2% no solo analisado.

Figura 13 - Primeira leitura após as 24 horas e ultima leitura após as 96 horas.



Fonte: Autores (2020).

Os valores, referentes ao ISC da amostra, estão apresentados na Tabela 3, e os valores destacados são referentes à recomendação da NBR 9895 (2016), em que se deve adotar o maior dos valores obtidos nas penetrações 2,54 mm e 5,08 mm. Nesse caso, o maior valor registrado na penetração de 2,54 mm, resultando em ISC de 12,66%.

Tabela 3 - Ensaio de ISC dados

Tempo	Penetração	CORPO DE PROVA 1			
		Leitura (µm)	Carga (kgf)	Carga (N)	Pressão (kPa)
0,5	0,63	1	2,3	22,6	11,7
1	1,27	2	5,1	50	25,9
1,5	1,9	3	6,8	66,7	34,5
2	2,54	4	8,9	87,3	45,2
3	3,81	5	11,2	109,9	56,9
4	5,08	6	12,9	126,6	65,5
6	7,62	7	15,6	153	79,2
8	10,16	8	18,1	177,6	91,9
10	12,7	10	22,6	221,7	114,8

Fonte: Autores (2019)

Mesmo que o ISC da sub-base seja superior a 20, a espessura do pavimento necessário para protegê-la é determinada como se esse valor fosse 20 e, por essa razão, usam-se sempre os símbolos H20 e h20 para designar as espessuras de pavimentos sobre sub-base e a espessura de sub-base, respectivamente. Os símbolos B e R designam, respectivamente, as espessuras de base e de revestimentos, conforme representa a Figura 11 (DNIT 2006).

4.1.4 Dimensionamento do Pavimento Asfáltico

No dimensionamento do pavimento asfáltico, as espessuras encontradas para aplicação dos materiais no pavimento é de 35 cm, sendo a sub-base com uma espessura de 15 cm, e a base com uma espessura de 15 cm, cujo revestimento em CBUQ é de 5 cm, conforme a Figura 14. Esses valores foram encontrados na aplicação das Equações 6,7 e 8.

Figura 14 – Estrutura do pavimento asfáltico

Fonte: autores (2020)

4.1.3 Dimensionamento do Pavimento Poliédrico

Conforme Mineropar (1983), se o subleito tiver um ISC menor que 15,3%, a espessura total do pavimento será igual ou superior a 23 cm. Como o ISC encontrado em laboratório é de 12,66%, o mínimo aceitável é 23 cm. Aplicando-se o ISC encontrado em laboratório na Equação 3, obteve-se um resultado de 26,5 cm descontando-se os 15 cm da altura das pedras. Como revestimento, tem-se o reforço do subleito e o mesmo utilizado como base de 11,5 cm, conforme indica a Figura 15.

Figura 15 - Estrutura do pavimento poliédrico

Fonte: autores (2020)

4.1.5 Quantitativos de materiais utilizados nos dois métodos construtivos de pavimentos

A via estudada, com um comprimento de 2,1 km e uma largura de 7m, totalizou uma área de 14700m². O levantamento dos quantitativos será verificado através do volume de material que cada pavimento necessita para ocorrer a execução dos mesmos, comparação que será analisada através das Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Quantitativo de materiais do pavimento asfáltico.

	Área (m ²)	Espessura (m)	Volume (m ³)	Material
Sub-base	14700	0,15	2205	Rachão
Base	14700	0,15	2205	Brita graduada
Revestimento	14700	0,05	735	CBUQ

Fonte: autores (2020)

Conforme Mineropar (1983), em média, são necessárias 55 pedras irregulares para cobrir um metro quadrado, obtidos manualmente, e 100 a 110 peças, quando obtidas por britagem.

Na região de Capitão L. Marques – PR, não se tem como prática utilizarem-se pedras britadas para construção do pavimento poliédrico, assim sendo, adotou-se o processo manual com 55 peças por m².

Tabela 5 – Quantitativos de materiais do pavimento poliédrico

	Área (m ²)	Espessura (m)	Volume (m ³)	Material	Total de pedras
Base	14700	0,115	1690,5	Pó de pedra	
Revestimento	14700	0,15		Pedras irregulares	808.500

Fonte: autores (2020)

4.1.6 Comparação de custo dos sistemas construtivos de pavimento

Foi realizado um desenvolvimento de orçamento para a estrutura do pavimento analisado do presente caso, considerou – se o mesmo subleito para ambos sistemas e desconsiderou-se o transporte dos materiais, cujo orçamento foi considerado com desoneração.

Conforme a apresentação da tabela abaixo Tabela 6, consta que o orçamento do pavimento asfáltico demonstra o valor total apresentado para o custo de implantação do sistema asfáltico, valor orçado é de R\$ 846.628,59 (Oitocentos e quarenta e seis mil seiscentos e vinte e oito reais e cinquenta e nove centavos). Foi dividido, também, o valor orçado pela área total da via que resultou em R\$ 57,60 (Cinquenta e sete reais e sessenta centavos) por metro quadrado.

Tabela 6 – Preços unitários e totais para implantação do pavimento asfáltico

Item	Descrição	Uni.	C. Execução R\$	Custo material R\$	C. Sub - serviço R\$	C. unitário R\$	C. total p/ via R\$
1	Regularização compac. Subleito 100% PN (A)	m ²	2,53	0,00	0	2,53	37.191,00
2	Macadame seco britado preenchido c/ bica corrida	m ³	13,53	63,12	0	76,65	169.013,25
3	Brita graduada 100% PM	m ³	8,92	0,00	90,39	99,31	218.978,55
4	Imprimação impermeabilidade exclusividade forn. de emulsão	m ²	0,28	0,00	0	0,28	4.116,00
5	Fornecimento de emulsão asfáltica EAI p/ imprimação	t	0,00	2667,16	0	2667,16	48.809,02
6	Pintura de ligação exclusive fornecimento da emulsão	m ²	0,19	0,00	0	0,19	2.793,00
7	Fornecimento de emulsão asfáltica RR - 1C	t	0,00	2306,77	0	2306,77	22.029,65
8	C.B.U.Q exclusive fornecimento de CAP (até 10000 t)	t	23,78	0,00	103,83	127,61	225.104,04

9	Fornecimento de CAP - 50/70	t	0,00	3.227,05	0	3.227,05	118.594,08
Total							846.628,59

Fonte: autor (2020)

Observando a Tabela 7, constou-se o orçamento da pavimentação poliédrica no valor total de R\$ 471.471,00 (Quatrocentos e setenta e um mil, quatrocentos e setenta e um reais), com um custo unitário por metro quadrado de R\$ 32,07 (Trinta e dois reais e sete centavos), demonstrando, assim, que o pavimento poliédrico é de 55,68% mais barato que o pavimento asfáltico.

Os valores utilizados para a elaboração dos orçamentos foram extraídos do site do Governo do Paraná – Departamento de Estradas de Rodagem – DER, com a atualização dos valores de outubro do ano de 2019.

Tabela 7 - Preços unitários e totais para implantação do pavimento poliédrico

Item	Descrição	Uni.	C. Execução R\$	Custo material R\$	C. Sub - serviço R\$	C. unitário R\$	C. total p/ via R\$
1	Regularização compac. Subleito 100% PN (A)	m²	2,53	0,00	0,00	2,53	37.191,00
2	Contenção lateral c/ solo local p/ pav. poliédrico	m²	1,20	0,00	0,00	1,20	17.640,00
3	Colchão de argila p/ pav. poliédrico	m²	1,06	0,00	0,46	1,52	22.344,00
4	Extração, carga, transp. assent. cordão lat. Pedra p/ pav. poliédrico	m	4,69	0,00	3,03	7,72	16.212,00
5	Extração, carga, transp. preparo e assentamento do poliedro	m²	6,70	0,00	10,07	16,77	246.519,00
6	Corte e preparo de pedra p/ pav. poliédrico	m²	7,81	0,00	0,00	7,81	114.807,00
7	Compactação de pavimento poliédrico	m²	0,42	0,00	0,00	0,42	6.174,00

8	Enchimento c/ argila p/ pav. poliédrico	m²	0,63	0,00	0,09	0,72	10.584,00
Total							471.471,00

CAPÍTULO 5

5.1 CONCLUSÃO

Com o presente trabalho, conseguiu-se ter uma melhor experiência e fundamentos com a prática e com o desenvolvimento de ensaios em laboratório, como ISC e Proctor, adquirindo-se, com isso, um conhecimento mais sólido de como o solo se comporta na presença de água e carga e, também, da importância que os mesmos têm na Engenharia rodoviária.

Os resultados obtidos no ensaio de Proctor foram uma umidade de 40% e uma massa específica do solo de $1,59 \text{ g/cm}^3$. Após esses resultados, aplicou-se, para descobrir o ISC e a expansão do solo que foi de 0,08%, que poderia chegar até 2%, segundo norma do DNIT. E o resultado obtido do encontrado foi de ISC 12,66%.

Foi preciso descobrir o tráfego da via, pelo qual se teve que entrar em contato com a prefeitura, não tendo êxito, de quantos veículos/dia passavam pela via. Em pesquisa de outros trabalhos obtivemos dados para poder desenvolver o dimensionamento do pavimento asfáltico.

O processo de dimensionamento dos pavimentos foi desafiador para a dupla, pois, para o pavimento poliédrico, não se têm normas/manuais atualizados e pouco conteúdo disponibilizado. Já o processo de pavimentação asfáltica tem uma gama maior de material disponível e atualizado, por ser um sistema de pavimento mais moderno e utilizado.

Teve-se uma noção de como municípios têm que investir em pavimentos em estradas rurais, buscando um sistema de pavimento econômico para longo prazo e de fácil manutenção sem custos elevados. A importância das vias rurais pavimentadas mostra-se indiscutível e urgente, pois o Brasil está entre os maiores produtores de commodities do mundo. Por isso, o escoamento de grãos é de suma importância e levando-se sempre em consideração o melhor conforto e a segurança dos usuários.

Conseguiu-se, obter através do presente trabalho, qual o sistema de pavimentação que demanda menos material e qual se torna mais viável para a via escolhida. O pavimento poliédrico é o que mesmo precisa de uma base de pó de pedra de 11,5 cm e revestimento com pedras irregulares com uma altura de 15 cm, totalizando uma espessura total do pavimento 26,5 cm. O quantitativo total de materiais para a via,

com esse sistema, é de 1690,5 m³ de pó de pedra e 808.500 mil pedras irregulares. Já para a aplicação do sistema construtivo de pavimentação asfáltica, o mesmo necessita de uma sub-base com 15 cm, uma base com 15 cm, e o revestimento com 5 cm, totalizando uma espessura total do pavimento de 35 cm. Assim sendo, é necessária uma quantidade maior de materiais para a construção desse pavimento cujo quantitativos para a sub-base é de 2205 m³ de rachão britado, 2205 m³ de brita graduada para a base e, 735 m³ de CBUQ para aplicação do revestimentos, mostrando, dessa forma, ser necessária uma maior quantidade de material para a aplicação desse método construtivo.

Os pavimentos, analisados neste trabalho, demonstraram que ambos têm seus inúmeros e lucrativos benefícios. O sistema de pavimento poliédrico foi um dos primeiros introduzidos no Brasil. Sua execução não requer mão de obra especializada nem equipamentos sofisticados pois é aplicado em locais com subleitos fracos e áreas onde há derramamento de combustíveis. Já o sistema de pavimento asfáltico gera menos ruídos e o tempo de execução é mais rápido.

Analisando-se os dois pavimentos e, com base nas tabelas e orçamentos demonstrados no presente trabalho, o pavimento poliédrico é o mais recomendado para aplicação na via estudada por demandar de menos materiais e possuir um custo menor por metro quadrado, que é de R\$ 32,07 (Trinta de dois reais e sete centavos) comparado com o pavimento asfáltico que é de R\$ 57,60 (Cinquenta de sete reais e sessenta centavos) por metro quadrado. Além do mais, para a implantação do pavimento poliédrico, os materiais a serem utilizados, são mais fáceis de serem encontrados na região estudada para a implantação do mesmo. Já o pavimento asfáltico seria menos viável por necessitar de uma quantidade maior de material e de valor mais custoso.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após o final deste estudo, seguem algumas sugestões para complementações e aplicações futuras no trecho estudado:

- a) Realizar estudo de implantação de drenagem na via;
- b) Realizar estudo de implantação de sinalização;
- c) Orçar o valor para implantação da referida via.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 7182. Solo – Ensaio de Compactação**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2016.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7182: Solo – ensaio de compactação**. Rio de Janeiro: 1986. 10p.

AUSTROADS. “**Guide to Pavement Technology - Part 1: Introduction to Pavement Technology**”. 2009. Sydney, Austrália. Disponível em: <<https://austroads.com.au/assets/pavements/guide-to-pavement-technology>> Acesso em: 01 mai. 2020.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BALBO, J. T. **Pavimentos de concreto**. São Paulo: oficina de textos, 2009.

BERNUCCI, L. B; MOTTA, L. M. G; CERATTI, J. A. P; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica – formação básica para engenheiros**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Imprinta, 2010.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT 164: Solos – compactação utilizando amostras não trabalhadas**. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT 172: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas**. Rio de Janeiro, 2016.

BURAK, R. J. **Construction details and guide specifications for interlocking concrete pavement**. Interlocking Concrete Pavement Institute. Montreal. Canadá, 2002.

COELHO-JR, M. L. P; ROCHA, P. H. T; **Estudo preliminar de misturas asfálticas a quente utilizadas em obras de pavimentação na região metropolitana de Goiânia. UFG. Goiânia**. 2013. 83f.

CUNHA, M. B. **Avaliação do Método de Bailey de seleção granulométrica de agregados para misturas asfálticas**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo – EESC. São Carlos, SP, 2004.

DI GIULIO, G. **Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto – Inovação Uniemp v.3 n.3 – Campinas**, 2007.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 172/2016 – ME: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizado amostras não trabalhadas – Método de ensaio**. Brasília, DF: DNIT, 2016.

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO PAVIMENTO POLIÉDRICO EM RODOVIAS RURAIS. **Pavimento**. 29 nov. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/192231/Tcc%20Lucas%20Adrian%20Hachmann.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acessado em 14 de julho de 2020.

GODINHO, D. P. **Pavimento Intertravado: Uma Flexão sob a Ótica da Durabilidade e Sustentabilidade**. Belo Horizonte, 2009.

GONÇALVES, F. J. P. **Diagnóstico e manutenção de pavimentos - Ferramentas auxiliares**. 1ª Edição. Passo Fundo: UPF Editora, 2007.

ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010.

LIMA, A. T. **Caracterização Mecânica de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente**. Dissertação de mestrado em Engenharia de Transportes. Programa de Mestrado em Engenharia de em Engenharia de Transportes. Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2003.

LAKATOS, E. M., MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 7ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MANZATO, G. G. **Introdução à Pavimentação**. Departamento de Engenharia Civil, UNESP, São Paulo, Brasil, 2014.

MARCHIONI, L. M. **Desenvolvimento de Técnicas para Caracterização de Concreto Seco Utilizado na Fabricação de Peças de Concreto Para Pavimentação Intertravada**. Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, São Paulo, Brasil, 2012.

MEDINA, J; MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos Pavimentos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2015.

MINAS GRAMADOS. **Calçamento Poliédrico**. 2018. Disponível em: <http://gramados.net/Loja/produto/calçamento-poliédrico-preco/>. Acessado em 03 de outubro de 2019.

OLIVEIRA, D. D; ANDRADE, G. S; LAPERCHÉ L. A. **Estudo comparativo de concreto betuminoso usinado a quente com diferentes tipos de ligante**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2014.

PEREIRA, T. C. **Uma Contribuição para a Determinação de Propriedades Físicas e Mecânicas de Materiais Granulares Compactos, com Recurso a Penetrômetro Dinâmico**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.

PINTO, S; PINTO, I. E. **Pavimentação Asfáltica: Conceitos Fundamentais sobre Materiais e Revestimentos Asfálticos**. 1ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

QUEIROZ, J. L; RIGATO, G. Determinação do Índice de Suporte Califórnia em solos do Norte do estado do Espírito Santo. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2016. **Anais..** CONTECC'2016. Foz do Iguaçu. 2016.

SANCHES.F. G; GRANDINI, F. H. B; BAIERLE-JR, O. **Avaliação da viabilidade financeira de projetos com utilização do asfalto-borracha em relação ao asfalto convencional.** UTFPR. Curitiba, 2012. 73f. Disponível em: < http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/750/1/CT_EPC_2012_1_11.PDF> Acesso em: 01 mai. 2020.

SANTOS, J. M. R. **Materiais utilizados na construção de pavimentos rodoviários.** 2010. 131f. Dissertação (mestrado) – Universidade de Aveiro. 2010. Disponível em : < <https://core.ac.uk/download/pdf/15564574.pdf>> Acesso em: 01 mai. 2020.

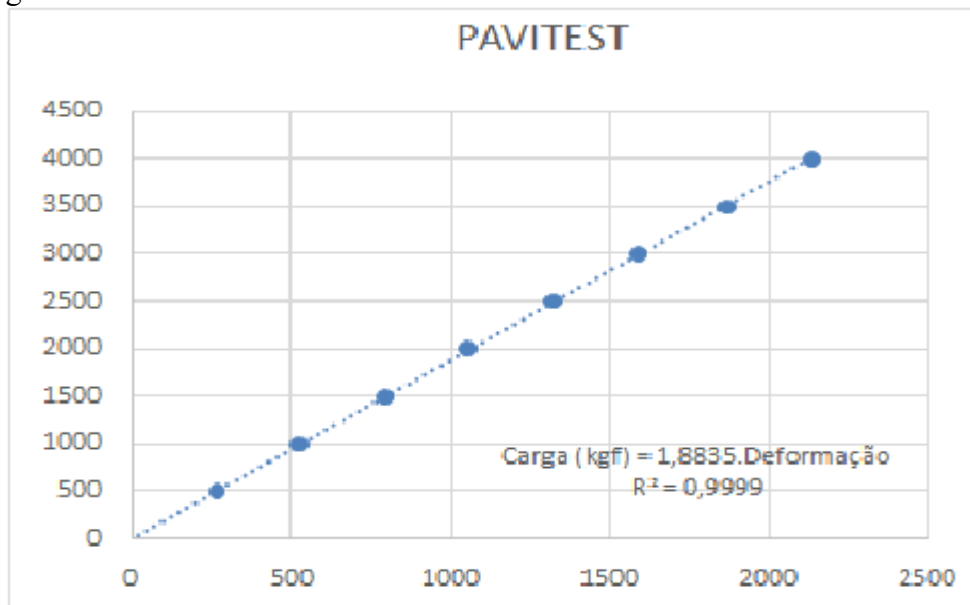
SUA INFORMAÇÃO. **Estrada entre Martim Longo e Santa Justa vai ter novo pavimento.** 2012. Disponível em: < <https://www.sulinformacao.pt/2012/01/estrada-entre-martim-longo-e-santa-justa-vai-ter-novo-pavimento/>>. Acessado em 03 de outubro de 2019.

TORRESGEOTECNIA. **Ensaio de compactação Proctor.** Sem data. Disponível em: <<http://www.torresgeotecnia.com.br/portfolio-view/ensaio-de-compactacao-proctor/>>. Acessado em 03 de outubro de 2019.

ANEXOS

ANEXO A

Calibração do Aparelho Pavitest – Deformação na horizontal e carga na vertical do gráfico



Fonte: Autores (2019)