DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO DA RODOVIA LMG-746 NO MUNICÍPIO DE MONTE CARMELO/MG

Ivan Carlos de Oliveira[1]
Ricardo Fonseca de Oliveira[2]

RESUMO

As estradas brasileiras são de grande importância para o deslocamento de passageiros e produtos. Existem aproximadamente 200.000 km de estradas distribuídas nas diferentes regiões do país. A construção de rodovias demanda uma série de estudos, etapas e detalhes, desde os estudos prévios, passando pela escolha dos materiais de base e dos produtos asfálticos, até o ponto de ficar pronto para os veículos transitarem. O tráfego que transitará sobre determinado pavimento ao longo de sua vida útil de serviço é convertido em um número de operações/solicitações de um eixo rodoviário padrão. O objetivo geral deste trabalho é realizar o dimensionamento das camadas do pavimento na rodovia LMG-746 no município de Monte Carmelo/MG. Após a contagem dos veículos, foi feito o levantamento do número "N" equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 t. Esse é um parâmetro que representa as solicitações das cargas na Rodovia LMG – 746 na cidade de Monte Carmelo – MG, próximo ao campus da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Araras, sobre o pavimento durante um determinado período de projeto. Para o dimensionamento do pavimento em questão, adotou-se o Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis. Esta metodologia está em conformidade com o Manual de Pavimentação do DNIT. No presente estudo, que se observou um volume médio diário de 1.398 veículos que transitaram na LMG – 746. Através do levantamento do solo da presente via foram calculadas todas as espessuras necessárias para cada camada do pavimento chega-se à representação final do mesmo.

PALAVRAS-CHAVE: Rodovia; Pavimento; Trafego.

[1] Graduado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Mário Palmério - UNIFUCAMP
[2] Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Uberlândia - UFU

ABSTRACT

The Brazilian roads are of great importance for the movement of passengers and products. There are approximately 200,000 km of distributed roads in the different regions of the country. Road construction demands a series of studies, steps and details, from previous studies, through the choice of base materials and asphalt products, to the point of being ready for vehicles to transit. Traffic that will travel over a given pavement over its service life is converted into a number of operations / requests on a standard road axis. The general objective of this work is to perform the sizing of pavement layers on the LMG-746 highway in Monte Carmelo/MG. After counting the vehicles, the equivalent "N" number of 8.2 t standard axle operations was surveyed. This is a parameter that represents the load requests on the LMG - 746 Highway in the city of Monte Carmelo - MG, near the campus of the Federal University and Uberlândia - Campus Araras, on the pavement during a certain project period. For the dimensioning of the pavement in question, the Flexible Pavement Design Method was adopted. This methodology complies with the DNIT Paving Manual. In the present study, a daily average volume of 1,398 vehicles traveling on the LMG - 746 was observed. Through the survey of the soil of the present road all the necessary thicknesses were calculated for each layer of the pavement, reaching the final representation of the same.

KEY-WORDS: Highway; Floor; Traffic.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, optou-se pelo transporte rodoviário desde 1940. As rodovias brasileiras são essenciais na locomoção de passageiros e produtos, de modo que por elas são transportados cerca de 61% das cargas e produtos no país. Existem aproximadamente 200.000 km de estradas distribuídas nas diferentes regiões do país. Porém, cerca de 90% das vias de transporte de produtos agrícolas e industriais ainda não são pavimentadas (RBA, 2019).

Segundo Cruz (2007), um modelo de transporte ineficiente eleva os custos de deslocamentos, além de se apresentar como um empecilho ao desenvolvimento da região ou país. Do mesmo modo, as vias de transporte em situação precária, restringem as possibilidades de ganhos pelo comércio. Para os exportadores tradicionais de produtos em estágio primário, o elevado custo e a baixa qualidade do transporte nacional levam à perda dos mercados tradicionais de exportação e os excluem dos mercados potenciais.

O custo para manutenção e construção de estradas são bastante elevados, de modo que se deve, no momento da construção, considerar todos os fatores que possam vir a prejudicar a sua estrutura. Neste sentido, a análise dos fatores de solo, clima e dimensionamento devem ser bastante criteriosas, uma vez que, para estradas com ausência de pavimento, o material do leito apresenta grande variabilidade, sendo, normalmente, obtido no próprio local de construção da estrada (PANAZZOLO; FRANTZ, 2012).

Para Lacerda (2015), a construção de rodovias demanda uma série de estudos, etapas e detalhes. Desde os estudos prévios, passando pela escolha dos materiais de base e dos produtos asfálticos, até o ponto de ficar pronto para os veículos transitarem.

Para desenvolvimento de um projeto de estrada pavimentada, é importante levar em consideração os estudos geométricos e os geotécnicos. Esses estudos podem ser considerados como fatores determinantes para dimensionamento da base que compõem a estrada em sua forma. A escolha do local e da extensão do trecho deve ser criteriosamente levantados e planilhados. Outro fator a ser projetado é a largura do leito da pista de rolagem que será responsável pelo suporte do pavimento, que deve ser determinada em função dos tratamentos a serem aplicados.

O ensaio CBR - California Bearing Ratio, ou em português ISC - Índice de Suporte Califórnia, foi desenvolvido por Porter em 1929. Esse ensaio é realizado especificamente, para o dimensionamento de pavimentos rodoviários. Porém, foi adaptado por engenheiros na pavimentação de aeroportos e se mantém até hoje como o parâmetro de projeto mais utilizado. O ensaio pode ser realizado obtendo a relação entre a força necessária para inserção de um pistão cilíndrico padronizado em um corpo de prova do solo que será utilizado na construção da base da estrada. De modo que ao se deparar com um resultado de CBR = 10%, observa-se que aquele solo representa 10% da resistência à penetração da brita padronizada. O ensaio de Índice de Suporte Califórnia, garante também a obtenção do índice de expansibilidade do solo, uma vez que, em uma etapa do ensaio, o solo é imerso em água, o que permite uma análise da expansão da amostra ensaiada em laboratório. Esse ensaio é o mais utilizado por projetistas de estradas e pavimentos em órgãos rodoviários (PEREIRA et al., 2006).

O tráfego que transitará sobre determinado pavimento ao longo de sua vida útil de serviço é convertido em um número de operações/solicitações de um eixo rodoviário padrão. Este número de solicitações é conhecido como número “N”.

Neste contexto, o presente trabalho pretende realizar o dimensionamento das camadas do pavimento na rodovia LMG- 746 no município de Monte Carmelo MG. Para tanto, será feito o levantamento do volume de tráfego no trecho.

1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar o dimensionamento das camadas do pavimento na rodovia LMG-746 no município de Monte Carmelo/MG.

1.1.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Realizar o levantamento do volume de tráfego nesse trecho;
- Determinar o número de solicitações do eixo padrão – Número "N";
- Elaborar o dimensionamento das camadas da via.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, são apresentados conceitos básicos sobre os pavimentos e sua classificação, nomenclatura das camadas do pavimento, materiais utilizados nas camadas dos pavimentos. É apontada, ainda, a importância do dimensionamento correto dos pavimentos. Por fim, são apresentados aspectos relacionados ao número de solicitações do eixo padrão – Número "N".

2.1 Pavimento

De acordo com RBA (2019), quando se percorre a história da pavimentação, isso nos remete à própria história, passando pela expansão da população pelos continentes, conquistas territoriais, intercâmbio comercial, cultural e religioso, urbanização e desenvolvimento. Assim como nos pavimentos, a história também é construída através de camadas e da mesma forma as estradas formam uma passagem para examinar o passado. Daí serem uma das primeiras buscas dos arqueólogos nas explorações de civilizações antigas.

O pavimento é considerado uma estrutura com múltiplas camadas de espessuras finitas, realizada sobre a superfície final onde foi realizada a terraplanagem. Essa tem por

objetivo resistir aos esforços advindos do tráfego de veículos e ação do clima, além de proporcionar aos seus usuários uma melhor condição de locomoção, com conforto, economia e segurança. A Figura 1 ilustra a aplicação do revestimento asfáltico em um trecho e uma rodovia.

Figura 1 - Aplicação de revestimento asfáltico

Fonte: Lanix (2019).

A pavimentação rodoviária pode ser classificada em dois modelos: rígidos e flexíveis. Porém, nos últimos anos, existe uma tendência de se usar a nomenclatura pavimentos de concreto e pavimentos asfálticos, respectivamente, para indicar o tipo de revestimento do pavimento. Os pavimentos rígidos são aqueles em que o revestimento é uma placa de concreto de cimento Portland. Esse modelo de pavimento apresenta espessura fixada em função da resistência à flexão das placas de concreto e das resistências das camadas posteriores. Esse tipo de pavimento pode apresentar barras de aço ou não (BERNUCCI, et al., 2010).

Segundo Nakamura (2011) a pavimentação asfáltica é composta por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos. Esse pode ser formado por quatro camadas, sendo: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito dependendo da necessidade. A camada asfáltica pode ser composta pela pista de rolamento que mantém contato direto com as rodas dos veículos e por camadas intermediárias, denominadas de binder. Com a formulação do projeto, os fatores como tráfego e disponibilidade de materiais, a pista pode apresentar ausência de algumas camadas. As camadas da estrutura repousa sobre o subleito, ou seja, a plataforma da estrada terminada após a conclusão dos cortes e aterros.

O pavimento é uma estrutura construída após terraplenagem e destinada, simultaneamente a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego, além de melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança. A Figura 2 apresenta as diferentes camadas de compõe um pavimento.

Figura 2 – Camadas de pavimentação

Fonte: Bernucci, et al., 2010.

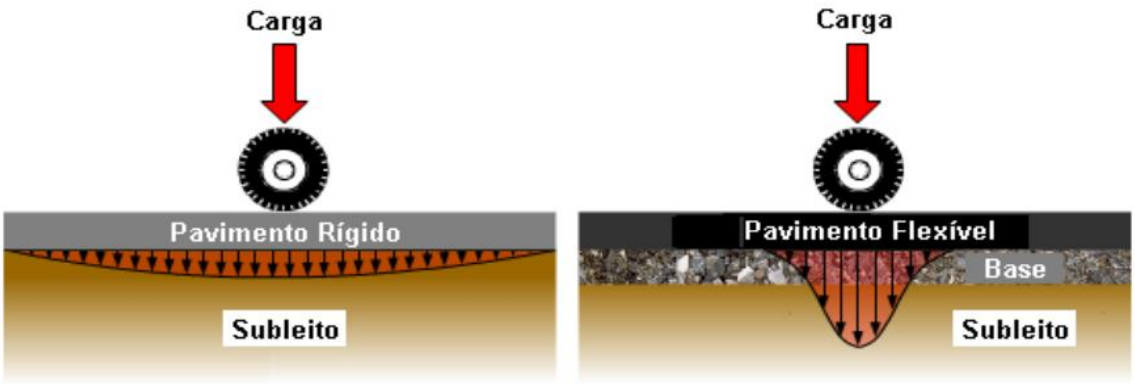
2.2 Classificação dos pavimentos

Para Melo (2019), basicamente existem dois tipos de estruturas de pavimento: os pavimentos flexíveis e os rígidos. A primeira é constituída por camadas que trabalham basicamente com compressão. Normalmente são constituídos de revestimentos betuminosos delgados sobre camadas puramente granulares. A resistência mecânica do asfalto é diretamente ligada a função das características de distribuição de cargas por um sistema de camadas superpostas, em que as de melhor qualidade encontram-se mais próximas da carga aplicada. No processo de dimensionamento tradicional são consideradas as características geotécnicas dos materiais a serem usados, e a definição da espessura das várias camadas depende do valor da CBR e do mínimo de solicitação de um eixo padrão 8,2 toneladas.

Já os pavimentos rígidos são formados por camadas que atuam essencialmente à tração. Seu dimensionamento é baseado nas propriedades resistentes de placas de concreto de cimento Portland, as quais são apoiadas em uma camada de transição, a sub-base. A determinação da espessura é conseguida a partir da resistência solicitada à tração do concreto e são feitas considerações em relação à fadiga, coeficiente de reação do subleito e cargas

aplicadas. Essas placas apresentam pouca deformação e uma vida útil extensa. Existe uma grande diferença no dimensionamento dos dois tipos de pavimentos: o pavimento flexível é comandado pela resistência do subleito e o pavimento rígido, pela resistência do próprio pavimento (FRANCO, 2007). A Figura 3 esquematiza um exemplo de pavimento rígido e flexível.

Figura 3 – Esquema de pavimento rígido e flexível



Fonte: Lanix (2019).

De acordo com Bianchi et al. (2008), um outro tipo de pavimento se encontra em uma situação intermediária entre os pavimentos rígidos e flexíveis. Esse tipo de pavimento se dá pela mistura de solo-cimento, solo-cal, solo-betume dentre outras, que apresentam razoável resistência à tração. A aplicação de carga em uma base cimentada sob o revestimento betuminoso, o pavimento é dito semirrígido. Porém, se o pavimento é reforçado com concreto asfáltico sobre placa de concreto cimento Portland, esse pode ser considerado como pavimento composto. Na medida que se passa a analisar a pavimentação como um sistema de camadas que tende a absorver tensões e sofrer deformações, esse processo se torna mais palpável.

2.3 Nomenclatura das camadas do pavimento

A pavimentação demanda a execução de variadas camadas de solo para posterior aplicação do revestimento asfáltico. Essas camadas são componentes principais que aparecem numa seção típica de pavimentos flexíveis e/ou rígidos. Assim, as camadas que compõe os pavimentos são as seguintes:

- **Subleito**: é o terreno de fundação onde será apoiado todo o pavimento. Deve ser considerado e estudado até as profundidades em que atuam significativamente as cargas impostas pelo tráfego que pode variar de 60 a 150 centímetro de espessura. A regularização do subleito é destinada a receber o leito, transversal e longitudinalmente. Essa poderá ou não existir, dependendo das condições do leito (NAKAMURA, 2011);
- **Reforço do subleito**: é considerada camada de espessura constante transversalmente e variável longitudinalmente, de acordo com o dimensionamento do pavimento, fazendo parte integrante deste e que, por circunstâncias técnico econômicas, será executada sobre o subleito regularizado. Essa promove melhora da qualidade do subleito e regulariza a espessura da sub-base;
- **Sub-base**: é camada complementar à base. Deve ser usada quando não for aconselhável executar a base diretamente sobre o leito regularizado ou sobre o reforço, por circunstâncias técnico-econômicas. Pode ser usado para regularizar a espessura da base;
- **Base**: destinada a resistir e distribuir ao subleito, os esforços oriundos do tráfego e sobre a qual se construirá o revestimento;
- **Revestimento**: é uma camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos. Essa tem por objetivo melhorar as condições do rolamento quanto à comodidade e segurança; a resistir aos esforços horizontais que nele atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento (BERNUCCI, et al., 2010).

2.4 Materiais utilizados nas camadas dos pavimentos

Diversos são os materiais utilizados na pavimentação, e podem variar conforme o tipo de pavimento ou tipo de camadas necessárias em cada obra. Os componentes utilizados para a realização da base, sub-base e reforço do subleito são classificados segundo sua natureza e comportamento. Nas obras de pavimentação utilizam variados tipos de agregados e solos, e os mais comuns são:

- **Brita Graduada Simples (BGS):** é um material que apresenta diâmetro nominal máximo de 38 mm, porém é mais usual com diâmetros nominais menores, mais possui poucos finos passantes na peneira #200. Geralmente apresenta índice de suporte Califórnia (CBR) maior que 60% e expansão nula ou muito baixa. Esse pode variar conforme o tipo de pavimento ou tipo de camadas necessárias em cada obra;

- **Macadame Hidráulico:** Esse material é composto por agregado graúdo, agregado miúdo e água. Foi um material bastante utilizado nos primórdios da pavimentação, antes do aparecimento da BGS, ainda é utilizado em locais que não apresentam usinas de BGS. Primeiramente o agregado graúdo é distribuído na pista, devendo ser compactado. Após a realização dessa etapa, deverá ser adicionado o agregado miúdo que irá se localizar nos vazios existentes entre os agregados graúdos. Outro material semelhante é o macadame Seco que é similar ao macadame hidráulico, porém a diferença é que nesse caso não apresenta em sua composição a água para realizar o preenchimento dos vazios na camada;

- **Solo Agregado**: Esse é um composto formado por agregados como brita, areia, solo e água. Esses materiais podem ser misturados em usinas e são aplicados diretamente no solo e compactados posteriormente por rolo liso ou pé de carneiro;

- **Rachão**: Um material mais bruto e utilizado em camadas onde há a necessidade de melhoria na resistência, basicamente são pedregulhos de grandes dimensões que são aplicados no solo sem que sejam compactados. Comumente utilizado para reforço do subleito ou sub-base;

- **Asfalto**: um dos componentes mais utilizados em pavimentação, pode ser apresentado como cimentos asfálticos, asfaltos diluídos e emulsões asfálticas. Esse pode ser manipulado de modo a apresentar características adequadas para o uso na construção de pavimentos, podendo ser resultado de destilação de petróleo em refinarias ou do asfalto natural encontrado em jazidas;

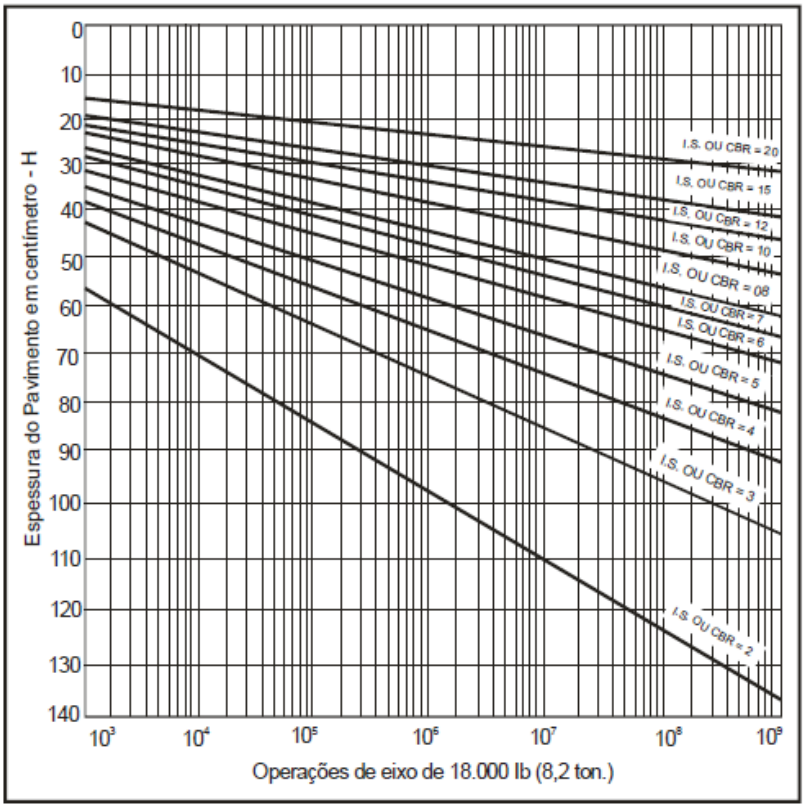
- **Cimento**: bastante utilizado em pavimentos rígidos. Esse é composto por cimento Portland como base para a produção dos elementos da camada de revestimento. O cimento poderá ser de qualquer tipo, desde que satisfaça as exigências especificas de projeto (MELO, 2019).

2.5 Dimensionamento do pavimento

O dimensionamento de um pavimento deve ser feito de modo a absorver as cargas do tráfego previsto no projeto, além das condições climáticas a que estará sujeito. As diferentes camadas devem resistir aos esforços solicitantes e transferi-los, por sua vez, às camadas posteriores. Os esforços os quais a estrutura está sujeita dependem principalmente da espessura das camadas e da resistência dos materiais. As estruturas do pavimento são

projetadas para resistirem a numerosas solicitações de carga, dentro do período de projeto, sem que ocorram danos estruturais fora do aceitável e previsto (MELO, 2019). A Figura 4 apresenta um ábaco de dimensionamento de pavimentos.

Figura 4 – Ábaco de dimensionamento de pavimentos



Fonte: DNIT (2006).

Os principais problemas encontrados em estradas mal dimensionadas são a deformação permanente e a fadiga das camadas de pavimentação. Para se dimensionar adequadamente uma estrutura de pavimento, deve-se conhecer bem as propriedades dos materiais que a compõem, sua resistência à ruptura, permeabilidade e deformabilidade, frente à repetição de carga e ao efeito do clima (NAKAMURA, 2011).

A formulação de um projeto de engenharia de um pavimento conclui-se com a versão final intitulada Projeto Executivo, que tem por objetivo permitir a perfeita execução da obra, possibilitar a sua visualização, o acompanhamento de sua elaboração, seu exame e sua aceitação e o acompanhamento da obra. Na fase de anteprojeto são desenvolvidos, ordinariamente os Estudos de Tráfego, Estudos Geológicos, Estudos Topográficos, Estudos Hidrológicos e Estudos Geotécnicos (MELO, 2019)

Após analisar todas as probabilidades de aproveitamento técnico-econômico de um trecho da estrada, com base nos ensaios de laboratório realizados nas amostras coletadas nos furos no solo feitos de acordo com a prospecção preliminar, será, então, feito o estudo

definitivo da mesma e sua cubagem. Em cada furo da malha ou no seu interior, para cada camada de material, é feito um ensaio de granulometria por peneiramento, de limite de liquidez, de limite de plasticidade e de equivalente de areia. Os ensaios de Índice Suporte Califórnia (ISC) para ocorrência de solos e materiais granulares é feito utilizando os corpos-de-prova obtidos no ensaio de compactação, ou os três que mais se aproximem do ponto de massa específica aparente máxima (BERNUCCI et al., 2010).

2.6 Número de solicitações do eixo padrão – Número "N"

Segundo Lopez (2009), um dos fatores que intervém no dimensionamento da pavimentação de bases flexíveis é o tráfego que solicitará determinada via durante seu período de vida útil. As cargas que solicitam a estrutura do pavimento ao longo de um período para o qual é projetado o pavimento são representadas pela ação do ciclo de carregamento e descarregamento em um determinado ponto fixo da superfície de rolamento quando da passagem das rodas dos veículos. Os prejuízos causados pela passagem de cada veículo é, usualmente, de pequena magnitude, mas o efeito acumulativo deste dano é que determina a resistência de vida à fadiga dos pavimentos. Para o dimensionamento de estradas brasileiras o fator preponderante que leva os pavimentos ao final de sua vida útil é este efeito acumulado.

No momento de dimensionamento de uma via, para efeito de projeto, o tráfego que transitará sobre determinado pavimento ao longo de sua vida útil de serviço é convertido em um número de solicitações de um eixo rodoviário padrão. Este número de solicitações é conhecido como número "N" (BERNUCCI, et al., 2010).

De acordo com Lacerda (2015), existem vários métodos de dimensionamento de pavimentos que utilizam algum parâmetro relativo ao tráfego. De modo que nos pavimentos rodoviários, o mais comumente utilizado é o chamado número N, definido como o número de repetições do eixo padrão de roda dupla de 8,2 toneladas força (tf). A base do cálculo deste parâmetro é o Volume Médio Diário Anual de veículos e o Fator de Veículo da respectiva frota. Este último, por sua vez, pode ser determinado a partir de dois parâmetros; Fator de Eixo e Fator de Carga. O número N ainda é um parâmetro de cálculo fundamental no Setor de Transportes no Brasil, tanto pela sua utilização direta no dimensionamento de pavimentos, como por seu uso na gerência de pavimentos e na classificação das vias.

Para dimensionamento é necessário o uso da equação equivalente ao número N:

$$N = 365.\ Vm.P.\ (FC).(FE).(FR)$$

Sendo:

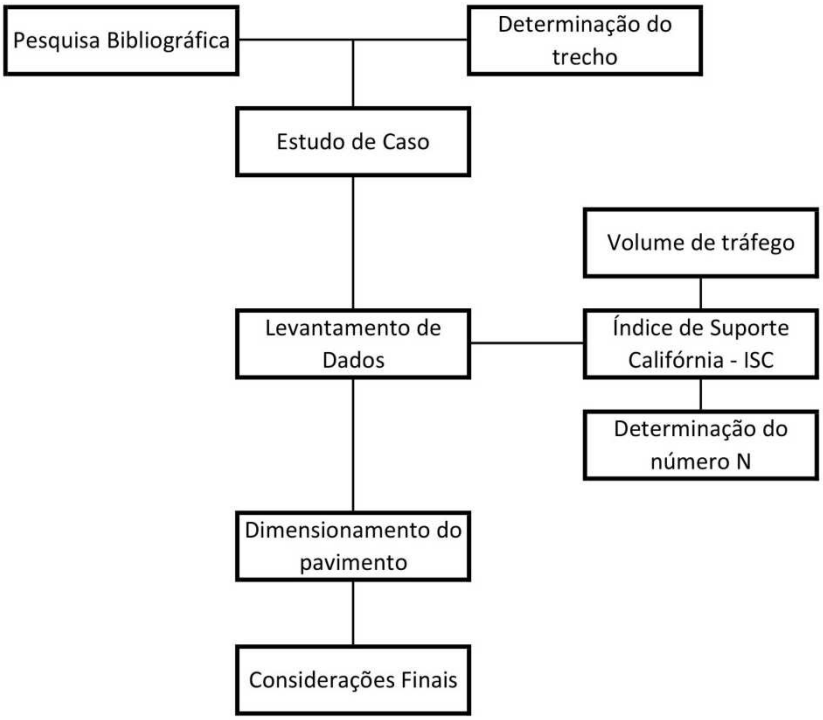
Vm = Volume diário médio de tráfego;
P = Período de projeto ou vida útil, em anos;
FC = fator de carga ou fator de operação de carga;
FE = Fator de eixo;
FR = Fator climático regional;

O fator de veículo (FV), produto do fator de eixo pelo fator de carga, atua na compensação da grande diversidade de veículos e cargas que transitam pela via, transformando estas cargas e veículos diversos em uma quantidade de operações do eixo padrão que seja equivalente em termos de efeito destrutivo do pavimento. Ou seja, o fator de veículo transforma um veículo qualquer, com um carregamento qualquer, em uma quantidade de solicitações equivalente do eixo padrão de 8,2 toneladas que causaria o mesmo efeito destrutivo no pavimento (PEREIRA, et al., 2006).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo são descritos os procedimentos metodológicos seguidos para a elaboração deste trabalho. O mesmo foi dividido basicamente em três etapas, sendo elas: a contagem do volume de tráfego, a determinação no número de solicitações do eixo padrão-número N e o dimensionamento do pavimento. A Figura 5 descreve as atividades desenvolvidas no presente artigo.

Figura 5 – Fluxograma das atividades desenvolvidas no trabalho



Fonte: Autor (2019).

A pesquisa de Contagem Classificada Veicular (CCV) consiste, segundo o próprio nome, em pesquisa de contagem de veículos segregando-os por tipo, em que se contam, separadamente, os veículos de passeio, motocicletas, ônibus e caminhões. Esta foi realizada entre as 07:00 às 19:00 do dia 28 de agosto de 2019, respeitando-se a metodologia quanto à divisão modal conforme Manual de Pavimentação do DNIT. A Figura 6 apresenta o trecho da rodovia a ser pavimentado.

Figura 6 - Trecho da rodovia LMG- 746 a ser pavimentado

Fonte: Google Earth, 2019.

Após a contagem dos veículos, foi feito o levantamento do número “N” equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 t. Esse é um parâmetro que representa as solicitações das cargas na Rodovia LMG – 746 na cidade de Monte Carmelo – MG, próximo ao campus da Universidade Federal e Uberlândia – Campus Araras, sobre o pavimento durante um determinado período de projeto.

Para o dimensionamento do pavimento em questão, adotou-se o Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis. Esta metodologia está em conformidade com o Manual de Pavimentação do DNIT. O método é baseado em dados empíricos que se fundamentam na capacidade de suporte do subleito, traduzida pelos ensaios de ISC dos seus materiais constituintes e pelo tráfego em termos de número equivalente de operações de um determinado eixo padrão, que é fixado em 8,2 t. As diversas camadas que irão constituir o pavimento são dimensionadas de forma a proteger o subleito e resistirem à atuação das cargas dinâmicas causadas pelo tráfego.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Volume de tráfego

O tráfego de veículos apresentou um comportamento típico de polos escolares, com picos bem definidos em função das entradas dos turnos acadêmicos. Observou-se que o carregamento é predominantemente de veículos particulares, seguindo para zona rural e comunidades rurais. Em relação ao tráfego de pesados, há uma predominância de ônibus, vans e caminhonetas, que são utilizados para o trânsito de alunos e funcionários. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos no levantamento qualitativo e quantitativo do número de veículos que circulam em um dia na LMG – 746, saindo de Monte Carmelo até a comunidade rural de São Felix de Estrela do Sul. Também foi dimensionada a demanda futura de veículos em circulação que foi de 3,5% ao ano totalizando 35% nos 10 anos de projeto.

Tabela 1 – Levantamento de veículos LMG – 746

TIPO MODAL	CONTABILIZADO (ATUAL)	ESTIMATIVA (10 ANOS)
VEÍCULOS LEVES	991	1.338
ÔNIBUS	29	39
CAMINHÃO	93	126
MOTOS	285	385
TOTAL	1.398	1.888

Fonte: Autor (2019).

4.2 Dimensionamentos das camadas do pavimento

Para o dimensionamento das camadas de um pavimento flexível, é necessário que conheçamos a capacidade de suporte dos materiais disponíveis para constituí-las, além, é claro, do material que compõe o subleito da futura estrada. Para isso, a capacidade de suporte dos materiais constituintes dos pavimentos é medida por meio do Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC), conhecido também como ensaio CBR, em corpos de prova indeformados ou moldados em laboratório.

Outro fator importante para o dimensionamento do pavimento é conhecer o número de solicitações de um eixo padrão, representado pelo número N, durante um determinado intervalo de tempo. Um passo muito importante no dimensionamento é a escolha do coeficiente de equivalência estrutural, que representa a capacidade relativa de um material em distribuir pressões sobre as camadas inferiores. Para concluir, é importante também observarmos que:

- A espessura mínima a adotar para compactação de camadas granulares é de 10 cm;
- A espessura total mínima para estas camadas, quando utilizadas, é de 15 cm;
- E a espessura máxima para compactação é de 20 cm.

4.2.1 Determinação do número "N"

O número "N", equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 t, foi calculado para um período de 10 anos. Com as equações abaixo obteve-se os seguintes resultados:

- Volume total de veículos:

$$V_1 = \frac{VDMA}{Numero\ de\ Faixa} \qquad \textit{(Eq. 1)}$$

$$\mathrm{V_1} = \frac{1398}{2} = 699\ \mathrm{Veiculos}$$

- Volume de Tráfego ao final do período de projeto:

$$V_p = V_1.(1 + P.t) \qquad \textit{(Eq. 2)}$$

$$\mathrm{V_p} = 699.\left(1 + 10.\frac{3{,}5}{100}\right) = 943{,}65\ Veiculos$$

- Volume médio calculado:

$$\mathrm{V_m} = \frac{V1+Vp}{2} \qquad (\mathrm{Eq.}\,3)$$

$$\mathrm{V_m} = \frac{699+943{,}65}{2} = 821{,}325\ Veiculos$$

- Volume total de tráfego:

$$\mathrm{V_t} = 365.\mathrm{V_m}.P \qquad (\mathrm{Eq.}\,4)$$

$$\mathrm{V_t} = 365.821{,}325.10 = 2997836{,}25\ Veiculos$$

- Fator de eixo:

$$FE = \left(\frac{P2}{100}\right).2 + \left(\frac{P3}{100}\right).3 + \cdots + \left(\frac{Pn}{100}\right).n \qquad (\mathrm{Eq.}\,5)$$

$$FE = \left(\frac{48{,}4}{100}\right).2 + \left(\frac{39{,}3}{100}\right).3 + \left(\frac{3{,}3}{100}\right).4 + \left(\frac{9}{100}\right).5 = 2{,}729$$

- Fator de equivalência de carga:

FC (Fator de carga) é o número que multiplicado pelo número de eixos dá o número equivalente de eixos padrão. É conseguido através de gráficos específicos e é função do valor da carga de eixo. Na falta de dados deve-se adotar, segundo manual DNIT (2006), FC igual a 1,7.

- Fator de veículos:

$$FV = FE.FC \qquad \text{(Eq. 6)}$$

$$FV = 2{,}729.1{,}7 = 4{,}6393$$

- Número de repetições do eixo padrão (número N):

$$N = Vt.FV.FR \qquad \text{(Eq. 7)}$$

$$N = 2997836{,}25.4{,}6393.1{,}0 = 13907861{,}71$$

$$\mathbf{N = 1{,}39 \times 10^7}$$

4.2.2 Espessura do revestimento

Portanto, para o dimensionamento será admitido valor de 1,39 x 10^7 para número "N", sem perda em termos de coeficientes de segurança e durabilidade do pavimento. De maneira que a espessura do CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente deve ter uma espessura mínima de 10 cm, obtida através da Tabela 2.

Tabela 2 - Espessura minima de revestimento betuminoso

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, 2006

4.2.3 Espessuras das camadas

A Figura 7 apresenta a simbologia utilizada no dimensionamento do pavimento, H_m designa, de modo geral, a espessura total de pavimento necessário para proteger um material com C.B.R. ou I.S. = CBR ou IS = m etc., h_n designa, de modo geral, a espessura de camada do pavimento com C.B.R. ou I.S. = n, etc.

Mesmo que o C.B.R. 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 esta razão, usam-se sempre os símbolos, H_{20} e h_{20} para designar as espessuras de pavimento sobre sub-base e a espessura de sub-base, respectivamente.

Os símbolos B e R designam, respectivamente, as espessuras de base e de revestimento. Uma vez determinadas as espessuras H_m, H_n, H_{20}, pelo gráfico da Figura 4, e R pela Tabela 2, as espessuras de base (B), sub-base (h_{20}) e reforço do subleito (h_n), são obtidas pela resolução sucessiva das seguintes inequações:

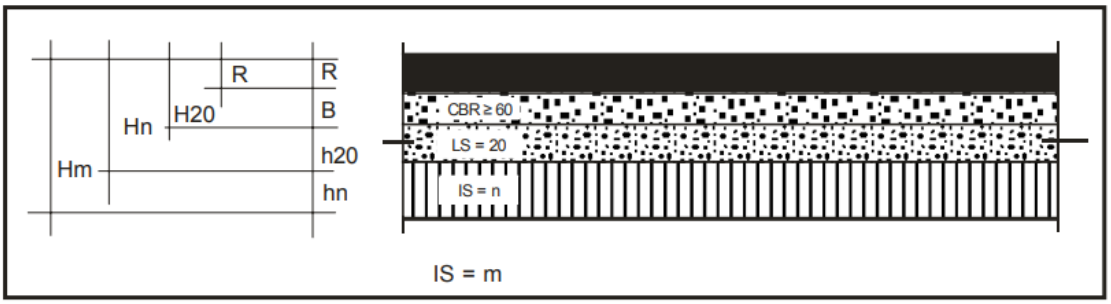
$$R.K_R + B.K_B \geq H_{20}$$

$$R.K_R + B.K_B + h_{20}.K_S \geq H_n$$

$$R.K_R + B.K_B + h_{20}.K_S + h_n.K_{Ref} \geq H_m$$

Os coeficientes de equivalência estrutural K_R, K_B para os diferentes materiais constitutivos do pavimento são dados pela Tabela 3.

Figura 7 - Dimensionamento do pavimento



Fonte: DNIT, 2006

São os seguintes os coeficientes de equivalência estrutural para os diferentes materiais constitutivos do pavimento:

Tabela 3 - Coeficiente de equivalência estrutural

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	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,20

Fonte: DNIT, 2006

a) Espessura da base:

Para o dimensionamento da espessura da base utilizou-se K = 2,0 para o revestimento CBUQ e K = 1,0 para a base granular, ambos encontrados na Tabela 3. Com o número $N = 1{,}39\ x\ 10^7$ e um CBR = 20% para a camada de sub-base, tem-se que a espessura $H_{20} = 27\ cm$, sendo esta retirada da Figura 4.

$$R.K_R + B.K_B \geq H_{20} \qquad \text{(Eq. 8)}$$

$$10.2{,}0 + B.1{,}0 \geq 27$$

$$B = \frac{27-20}{1} = 7 \text{ cm}$$

Adota-se 15 cm para a espessura da base, pois camadas com menos de 15 cm a energia é devolvida.

b) Espessura da sub-base:

Para o dimensionamento da espessura da sub-base utilizou-se K = 2,0 para o revestimento CBUQ e K = 1,0 para a base granular, ambos encontrados na Tabela 3. O cálculo do Ks está descrito abaixo. Com o número $N = 1{,}39\ x\ 10^7$ e um CBR = 10% adotado

para a camada de reforço do subleito, tem-se que a espessura $H_n = 45\ cm$, sendo esta retirada da Figura 4.

$$Ks = \left(\frac{\text{CBR1}}{3.\text{CBR2}}\right)^{1/3} \quad \text{(Eq. 9)}$$

$$Ks = (\frac{20}{3.10})^{1/3} = 0{,}87$$

$$R.K_R + B.K_B + h_{20}.K_S \geq H_n \quad \text{(Eq. 10)}$$

$$10.2{,}0 + 15.1{,}0 + h_{20}.0{,}87 \geq 45$$

$$h_{20} = \frac{45 - 20 - 15}{0{,}87} = 11{,}5\ cm$$

Portanto, adota-se 15 cm para a espessura da sub-base.

c) Espessura do reforço do subleito:

Para o dimensionamento da espessura do reforço do subleito, utilizou-se K = 2,0 para o revestimento CBUQ, K = 1,0 para a base granular, $K_s = 0{,}87$ para a sub-base. O cálculo do K_{ref} está descrito abaixo. Com o número $N = 1{,}39\ x\ 10^7$ e um CBR = 7% adotado para o subleito, tem-se que a espessura $H_m = 55\ cm$, sendo esta retirada da Figura 4.

$$K_{ref} = \left(\frac{CBR_1}{3.CBR_2}\right)^{1/3} \quad \text{(Eq. 11)}$$

$$K_{ref} = \left(\frac{10}{3.7}\right)^{1/3} = 0{,}78$$

$$R.K_R + B.K_B + h_{20}.K_S + h_n.K_{Ref} \geq H_m \quad \text{(Eq. 12)}$$

$$10.2{,}0 + 15.1{,}0 + 15.0{,}87 + h_n.0{,}78 \geq 55$$

$$h_n = \frac{55 - 20 - 15 - 13{,}05}{0{,}78} = 8{,}91\ cm$$

Adota-se 15 cm para o reforço do subleito.

A tabela 4 mostra as camadas do pavimento, com as respectivas espessuras e CBR adotados.

Tabela 4 - Espessura das camadas dos pavimentos.

CBR ADOTADO	CAMADAS DO PAVIMENTO	ESPESSURA
CBUQ	Revestimento	10 cm
CBR = 80%	Base	15 cm
CBR = 20%	Sub-base	15 cm
CBR = 10%	Reforço do subleito	15 cm
CBR = 7%	Subleito	

Fonte: Autor (2019).

As camadas dos pavimentos serão feitas com os seguintes materiais:

- Revestimento = Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ);
- Base = Brita graduada simples (BGS).
- Sub-base: solo-brita;
- Reforço do subleito: Solo laterítico.

5. CONCLUSÃO

A Rodovia LMG – 746 na cidade de Monte Carmelo – MG, apresenta um grande fluxo de veículos particulares e coletivos, por ser uma importante via de acesso ao povoado São Felix e também pela existência de diversas fazendas. No presente estudo observou-se um volume médio diário de 1.398 veículos que transitaram na LMG – 746. Através do levantamento do solo da presente via foram calculadas todas as espessuras necessárias para cada camada do pavimento chegou-se à representação final do mesmo. Os valores adotados para as camadas não devem ser inferior a 15 cm para o reforço do subleito, sub-base e base, e o revestimento utilizado foi o Concreto Betuminoso Usinado a Quente de 10 cm.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me dado força e sabedoria para enfrentar e vencer os obstáculos, e concluir todo esse trabalho.

Minha Família minha mãe Margarete, meu pai José Maria, meus irmãos Allan e Everton e minha namorada Roberta, meu muito obrigado a todos pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Agradeço ao meu orientador, professor Me. Ricardo Fonseca de Oliveira que me acompanhou desde o início, com sua paciência, compreensão e incentivo, dando todo o auxílio necessário para a elaboração desse projeto.

Ao coordenador professor Me. Emiliano Silva Costa e a todos os professores do curso de Engenharia Civil que através dos seus ensinamentos permitiram que eu pudesse hoje estar concluindo esse trabalho.

Aos meus amigos e colegas de curso, pela cumplicidade, ajuda e amizade.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNUCCI Liedi Bariani; MOTTA Laura Maria Goretti da; CERATTI Jorge Augusto Pereira; SOARES Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica Formação básica para engenheiros.** PETROBRAS, 3ª. Reimpressão, 2010, 508 p.

BIANCHI, Flavia Regina; BRITO, Raquel Tacla; CASTRO, Veronica Amanda Brombley. **Estudo comparativo entre pavimento rígido e flexível .** Associa Associa ção de Ensino Superior Unificado do Centro Leste. 2008, 16 p.

CRUZ, Thania Regina Pantoja da Vera. **Causas e consequências da limitação da cabotagem no transporte de carga pela costa brasileira: uma avaliação hierárquica no trecho Manaus- Santos**. Dissertação (Mestrado em Transportes Urbanos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007. 145 p.

FRANCO, F.A.C.P., Método de **Dimensionamento Mecanístico-Empírico de Pavimentos Asfálticos – SisPav**. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007. 132 p.

LACERDA, Sander Magalhães. **O financiamento da infra-estrutura rodoviária através de contribuintes e usuários**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 21, p. 141-159, mar. 2015.

LANIX ENGENHARIA CONSULTIVA LTDA. **Memorial de cálculo do projeto de pavimentação - pista interna provisória do campus araras da UFU.** Belo Horizonte, 22 de julho de 2016. 26 p.

LOPES, Óscar Miguel Moreira**. Misturas betuminosas – determinação das características para o cálculo dos pavimentos.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia Cidade do Porto. Junho de 2009. 77 p.

MELO, Brenno Teixeira de Alcântara. **Engenharia Civil – Pavimentação Classificação dos Pavimentos.** Disponível em: https://www.academia.edu/25354308/Engenharia_Civil_-Pavimenta%C3%A7%C3%A3o_Classifica%C3%A7%C3%A3o_dos_pavimentos. Acesso em: 16 de maio de 2019.

NAKAMURA, Juliana. **Pavimentação asfáltica: Os tipos de revestimentos, o maquinário necessário e os cuidados na contratação, projeto e execução.** Edição 16 - Dezembro/2011. Disponível em: http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/16/pavimentacao-asfaltica-os-tipos-de-revestimentos-o-maquinario-necessario-260588-1.aspx. Acesso em: 20 de maio de 2019.

PANAZZOLO, Adriano Peixoto, FRANTZ, Letícia Coradini. **Gestão ambiental na construção de rodovias - O caso da BR-448 - Rodovia do Parque**. 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012.

PEREIRA, Reginaldo Sérgio; MACHADO Carlos Cardoso; CARVALHO, Carlos Alexandre. Aplicações De Misturas Solo-"Grits" Em Estradas Florestais: Resistência Mecânica Via CBR. **Revista Árvore, Viçosa-MG**, v.30, n.4, p.619-627, 2006

RBA – Rede Brasil Atual. **A histórica dependência do Brasil no modelo rodoviário de transporte de cargas.** Disponível em: https://www.redebrasilatual.com.br/economia/2018/05/a-historica-dependencia-do-brasil-do-modelo-rodoviario-de-transporte-de-cargas. Acesso em:29 de março de 2019.

SOUZA, Ricardo Andrade de. **Comparative study of tests of CBR and Mini-CBR for soils of Uberlândia - MG**. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007. 114 f.