



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII – ARARUNA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RODOLFO SOUSA DE ARAÚJO

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE CUSTO-BENEFÍCIO ENTRE DOIS MÉTODOS
DE DIMENSIONAMENTO PARA IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXIVEIS**

ARARUNA

2019

RODOLFO SOUSA DE ARAÚJO

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE CUSTO-BENEFÍCIO ENTRE DOIS MÉTODOS
DE DIMENSIONAMENTO PARA IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXIVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Pavimentação.

Orientador: Prof. Me. Alan Barbosa Cavalcanti.

ARARUNA

2019

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

A658a Araujo, Rodolfo Sousa de.

Avaliação comparativa de custo-benefício entre dois métodos de dimensionamento para implantação de pavimentos flexíveis [manuscrito] / Rodolfo Sousa de Araujo. - 2019.

48 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2019.

"Orientação : Prof. Me. Alan Barbosa Cavalcanti, Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. INVIAS. 2. Malha rodoviária. 3. Implantação de Pavimentos. 4. Custo-benefício. I. Título

21. ed. CDD 624

RODOLFO SOUSA DE ARAÚJO

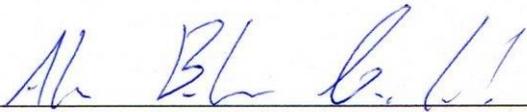
AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE CUSTO-BENEFÍCIO ENTRE DOIS MÉTODOS DE
DIMENSIONAMENTO PARA IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXIVEIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia Civil
da Universidade Estadual da Paraíba, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

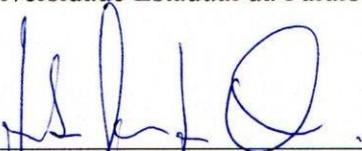
Área de concentração: Pavimentação.

Aprovado em: 12/12/2019.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Alan Barbosa Cavalcanti (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Esp. Lauandes Marques de Oliveira
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Maria Júlia de Oliveira Holanda
Instituto Federal da Paraíba (IFPB)

Dedico este trabalho a meus pais Rogério e Genália, e minha irmã Helena.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus toda minha gratidão pelo suporte e apoio em momentos de cansaço. Por em sua grandiosa luz proporcionar alívio e força para continuar.

Aos meus pais, Rogério Alves de Araújo e Genálria de Oliveira Sousa Araújo, por todo carinho, paciência e atenção durante toda minha vida. Por sempre acreditarem no meu potencial e fazerem do possível e impossível para me proporcionar uma educação de qualidade, visando meu futuro e felicidade, a vocês todo agradecimento e amor. A minha irmã Helena, quem em tão pouca idade é capaz de acalantar os maiores problemas, de fato uma luz que veio a acrescentar nas nossas vidas.

Aos meus avós, Erivaldo Peixoto, Maria Isabel e Maria de Fátima, por cuidarem e sempre mostrarem que em nenhuma hipótese estaria só. Demonstrando o carinho e suporte de avós que apenas eles poderiam dar. Desde criança mostrando torcida para meu sucesso.

Aos meus primos, Raíssa, Fabio Júnior e Robson por toda cumplicidade e alegria dividida ao longo dos anos. Aos pequenos que trazem alegria e movimento para nossas vidas, Romero Filho, Filipe Gabriel, Antônia, Heitor e Samuel.

A minha prima, Rafaella Sousa por todo suporte e carinho depositado, sempre se mostrando muito solícita e prestativa em todos os momentos, sendo um exemplo para mim.

Aos meus tios, Geane, Jefferson, Geruza, Fábio, Igo e Romero por toda confiança, carinho e palavras de força ao longo da graduação e vida, sempre estando presentes na minha formação pessoal e profissional.

Aos meus primos, Alexandre Alves e Valéria Albuquerque pessoas que são luz na minha vida, sempre dividindo momentos de alegria e se tornando padrinhos de coração. São grandes responsáveis na minha formação pessoal.

Aos amigos, Igor Silveira, Thiago Gomes e Zaqueu Moura, por mostrarem a importância da amizade e companheirismo, vocês são grandes irmãos que Deus me enviou, o apoio de vocês é, e sempre será muito importante para mim.

Aos amigos e colegas Rivaildo Ramos, Markswillian Marques, Josival Leandro, André Martins, Tiago Weber, Brenda Sousa, Gleidson e Jandeilson por todas as tristezas e principalmente alegrias divididas ao longo desses anos de graduação, o apoio e companhia de vocês foram de grande importância para conclusão do curso.

A meu orientador, Prof. Me. Alan Barbosa Cavalcanti, pela paciência e confiança a me guiar pela conclusão do curso, se mostrando sempre um ótimo profissional, exemplo qual

despertou meu interesse pela área de estudo, principalmente pela sua grande experiência e integridade.

Aos meus amigos, Prof. Me. Igor Souza Ogata e Prof. Esp. Lauandes Marques de Oliveira, por todo apoio durante a graduação e vida profissional.

Aos funcionários da SEINFRA da cidade de Guarabira, pelo ótimo estágio, em especial ao Secretário Murilo Filho, que depositou grande confiança na minha capacidade profissional. A vocês, obrigado por toda a experiência adquirida no início da minha jornada como Engenheiro Civil, além da oportunidade de trazer benefícios para minha cidade.

Aos meus amigos da empresa júnior PILARES, que veio a me capacitar e criar um novo pensamento sobre a engenharia, bem como a importância de empreender.

A todos que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento e realização deste grande feito, meu eterno agradecimento.

“A liberdade, Sancho, é um dos dons mais preciosos, que aos homens deram os céus: não se lhe podem igualar os tesouros que há na terra, nem os que o mar encobre...”

Miguel de Cervantes

RESUMO

O Brasil é um país de dimensões continentais, porém apenas 12,4% da sua malha é pavimentada, o alto custo da implantação de pavimentos está totalmente ligado às condições precárias em que as mesmas se encontram, bem como o fato do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) utilizar um método empírico com cargas de referência defasadas para dimensionar os pavimentos flexíveis de suas estradas. O objetivo principal do estudo é observar o custo-benefício da aplicação dos métodos e a eficiência do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis utilizado no Brasil (DNIT, 2006) e compará-lo com o método utilizado na Colômbia (INVIAS, 2017). Foi utilizada uma abordagem comparativa das espessuras das camadas e do custo por quilômetro para implantá-las, adotando uma largura média de via de 7 metros. A comparação se deu através do dimensionamento dos pavimentos com CBR (Índice de Suporte Califórnia) de 3% e 8%, variando a exposição entre cargas leves, médias e altas. Ao variar as cargas de leve à pesada percebe-se que o método do DNIT (2006) demonstra uma espessura máxima de 12,5 centímetros, já o INVIAS (2017), apresenta espessuras de 12,5 a 16,5 centímetros para a camada de revestimento. Os resultados comprovam que o método do INVIAS (2017), que sobrecarrega a camada de revestimento, apresenta maiores custos orçamentários. E mesmo que o método do DNIT (2006), não tenha atualização quando as cargas exercidas pelos eixos (N) ainda apresenta melhor custo-benefício.

Palavras-Chave: INVIAS. Malha rodoviária. Implantação de Pavimentos. Custo-benefício.

ABSTRACT

Brazil is a country of continental dimensions, but only 12.4% of its roads are paved, the high cost of paving is totally linked to the precarious conditions in which they are, as well as the fact that the National Department of Ground Infrastructure (DNIT) use an old method to size the flexible pavements of your roads. The main objective of the study is to observe the cost-benefit of applying the methods and the efficiency of the flexible pavement sizing method used in Brazil (DNIT, 2006) and compare it with the method used in Colombia (INVIAS, 2017). A comparative approach of layer thicknesses and cost per kilometer was used to implement them, adopting an average track width of 7 meters. The comparison was made by sizing the pavements with CBR (California Support Index) of 3% and 8%, varying the exposure between light, medium and high loads. By varying the loads from light to heavy, it is clear that the DNIT method (2006) shows a maximum thickness of 12.5 centimeters, whereas INVIAS (2017) has thicknesses of 12.5 to 16.5 centimeters for the layer. coating The results show that the INVIAS (2017) method, which overloads the coating layer, presents higher budget costs. And even though the DNIT (2006) method does not have updating when the loads exerted by the axes (N) is still more cost-effective.

Keywords: INVIAS. Road network. Pavement implementation. Cost benefit.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Estrutura das camadas do pavimento flexível.....	19
Figura 2 –	Fluxograma de atividades.....	25
Figura 3 –	Espessura das camadas para revestimentos asfálticos.....	27
Figura 4 –	Ábaco para dimensionamento em função do CBR e N.....	28
Figura 5 –	Classe de tráfego de acordo com o número N.....	29
Figura 6 –	Exemplificação do catálogo do método INVIAS.....	31
Figura 7 –	Comparativo entre a espessura de revestimento para CBR = 3%.....	35
Figura 8 –	Comparativo entre a espessura de revestimento para CBR = 8%.....	36
Figura 9 –	Comparativo de custo entre a espessura de revestimento para CBR 3%.....	37
Figura 10 –	Comparativo de custo entre a espessura de revestimento para CBR 8%.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Valores de repetições de carga adotados para dimensionamento.....	24
Tabela 2 –	Valores adotados para dimensionamento	25
Tabela 3 –	Variável de entrada do clima da cidade de João Pessoa – PB.....	26
Tabela 4 –	Materiais para dimensionamento do método INVIAS.....	26
Tabela 5 –	Espessura mínima para revestimentos asfálticos.....	27
Tabela 6 –	Coefficiente K em função do tipo de material adotado.....	28
Tabela 7 –	Classificação da região em relação ao número N.....	30
Tabela 8 –	Classificação da classe de fundação.....	30
Tabela 9 –	Espessuras das camadas para o método do DNIT (2006), com CBR de 3%.....	32
Tabela 10 –	Espessuras das camadas para o método do DNIT (2006), com CBR de 8%.....	32
Tabela 11 –	Espessuras das camadas para o método do INVIAS (2017), com CBR de 3%.....	33
Tabela 12 –	Espessuras das camadas para o método do INVIAS (2017), com CBR de 8%.....	33
Tabela 13 –	Custo do km do pavimento para um $N = 1 \times 10^4$	34
Tabela 14 –	Custo do km do pavimento para um $N = 1 \times 10^6$	34
Tabela 15 –	Custo do km do pavimento para um $N = 1 \times 10^8$	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
INVIAS	Instituto Nacional de Vias
CBR	Índice de Suporte California
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagens
CNT	Confederação Nacional de Transportes
NBR	Norma Brasileira
CAUQ	Concreto Asfáltico de Petróleo
USACE	Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos
AASHTO	Associação Americana de Rodovias do Estado e Funcionários de Transporte
SICRO	Sistema de Custos Referenciais de Obras
SBG	Agregado Graúdo
BG	Brita Graduada
ES	Especificação de Serviço

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1 Pavimentos Flexíveis	17
3.2 Estrutura das camadas do pavimento flexível	17
3.2.1 Subleito	18
3.2.2 Reforço do Subleito	19
3.2.3 Sub-base	19
3.2.4 Base	19
3.2.5 Revestimento	20
3.3 Dimensionamento de pavimentos flexíveis	20
3.3.1 Método de dimensionamento do DNIT	21
3.3.2 Método de dimensionamento do INVIAS	21
4 METODOLOGIA	23
4.1 Planejamento	23
4.2 Escolha da área utilizada	24
4.3 Escolha do material das camadas dos pavimentos para o método INVIAS	25
4.4 Dimensionamento pelo método do DNIT (2006)	25
4.4 Dimensionamento pelo método do INVIAS (2017)	28
4.5 Orçamentação dos pavimentos	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
5.1 Dimensionamentos pelo método do DNIT (2006)	31
5.2 Dimensionamentos pelo método do INVIAS (2017)	32
5.2 Análises de custo	33

5.3 Comparativo entre as espessuras dos pavimentos -----	34
5.4 Comparativos de custos executivos entre os pavimentos dimensionados -----	35
6 CONCLUSÃO -----	38
REFERÊNCIAS -----	39
APÊNDICE A – Cálculos do Método de dimensionamento do DNIT -----	41
APÊNDICE B – Cálculos do Método de dimensionamento do INVIAS -----	43
APÊNDICE C – Cálculos Orçamentários do Método do DNIT -----	45
APÊNDICE D – Cálculos Orçamentários do Método do INVIAS -----	46

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da história da civilização seu crescimento foi marcado por relações com diferentes povos e o comércio, para tal foi necessário à implantação de estradas, primitivas até então, que facilitariam as rotas e o acesso a diferentes povos. Com o aumento populacional nas cidades, bem como a conseqüente criação de novos centros urbanos houve a necessidade de implantar estradas eficientes que promoveriam conforto e resistência. Logo, a tecnologia aplicada no dimensionamento e construção de vias foi aumentada de acordo com o aparecimento de novas cargas que viriam a solicitar o pavimento (GONÇALVES, 1999).

Segundo a CNT (2018) da malha rodoviária Brasileira, apenas 12,4% encontra-se pavimentada, tendo 87,6% restantes sem revestimento, também conhecidas como estradas vicinais. Dentre elas, a maioria encontra-se em condições regulares. Tais dados vêm a constatar a falta de cuidado e reparos com as malhas, bem como a ineficiência estrutural do pavimento que se encontra danificada mesmo dentro do prazo estipulado em dimensionamento, principalmente pela crescente frota rodoviária que rodam sobre tais estradas.

O atual método de dimensionamento para pavimentos flexíveis existente no Brasil consiste na utilização de conceitos e regras desenvolvidas através de observações em pavimentos existentes, obtendo experiência sobre materiais, solos e climas muito específicos proporcionando uma simplificação do método (FRANCO, 2007). A utilização do método de forma generalizada em vasta área do país pode comprometer a eficiência do pavimento, problematizado por ser um método empírico.

Outra grande influência para a baixa qualidade dos pavimentos brasileiros é a fraca gestão e preocupação com a recuperação total e parcial do estado do pavimento (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES, 2008). Fator explicado pelo alto investimento necessário para se realizar a implantação de um pavimento, custos que são negligenciados. O correto dimensionamento e aplicação de um método coerente com as características locais fomenta a qualidade do pavimento e reduz o custo desnecessário.

A avaliação dos métodos existentes e atuantes, principalmente daqueles presentes na América do Sul, justificados por apresentarem climas similares, proporcionam um estudo sobre a qualidade do dimensionamento utilizado, bem como o seu custo, resistência e segurança para utilização. Visando isto, será avaliada a relação custo-benefício, comparando o método empírico do DNIT e o método de dimensionamento do Instituto Nacional de Vias da Colômbia (INVIAS, 2017).

Uma vez que ambos os métodos, DNIT (2006) e INVIAS (2017), possuem uma padronização quando a classificação da carga, baseada em um eixo padrão de 8,2 toneladas a comparação entre os dois tipos de tráfegos e sua influencia nas espessuras dos pavimentos foi possível. O estudo ainda compara a espessura das camadas provenientes dos dois métodos, apresentando variável quanto à carga, variando a faixa de volume de tráfego (N), compreendendo-os entre 10^4 , 10^5 e 10^6 e os arranjando entre dois tipos de Índice de Suporte Califórnia (CBR – California Bearing Ratio).

A avaliação comparativa em relação ao custo do pavimento para cada dimensionamento será utilizada a ferramenta SICRO (Sistema de Custos Referenciais de Obras), que segundo o DNIT (2017), é uma ferramenta eficiente para cálculo de infraestruturas rodoviárias, apresentando valores atualizados e condizentes com a situação de cada região do país.

O método do INVIAS (2017) foi escolhido por apresentar, no meio dos métodos utilizados na América latina, um comportamento semelhante ao utilizado pelo DNIT (2006). Além de que a utilização do catálogo de dimensionamento é uma proposta interessante por apresentar ao engenheiro escolhas de materiais pré-definidos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar o dimensionamento e orçamentação das espessuras das camadas de pavimentos flexíveis provenientes dos métodos do DNIT (2006) e INVIAS (1998). Avaliando e comparando o custo benefício para a implantação do pavimento.

2.2 Objetivos específicos

- Dimensionar os pavimentos para diferentes níveis de tráfego e avaliar as espessuras das camadas para o método do DNIT (2006) e do INVIAS (1998).
- Orçar todos os resultados obtidos através dos dimensionamentos e apresentar a análise de custo para implantação dos distintos métodos.
- Comparar as espessuras das camadas e o custo para executá-las, entre os dois métodos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Pavimentos Flexíveis

Segundo o DNIT (2006), pavimento é definido como a superestrutura de camadas com espessuras finitas, assentadas sob um espaço teoricamente infinito (infraestrutura), qual é denominado subleito. Ainda para a NBR 7207 (1982) o pavimento é uma estrutura construída sobre a terraplanagem e destinada a distribuir os esforços para o solo (subleito), apresentando uma melhoria para o rolamento e resistência a esforços verticais e horizontais.

O pavimento rodoviário se classifica em: rígido, flexível e semirrígido, variando o processo de transmissão das cargas para o solo. O pavimento é submetido a esforços de tração e compressão, devidos a flexão sofrida pelo contato do pneu com a camada de rolamento (KOSTULSKI, 2017).

Segundo Gonçalves (1999), vários fatores interferem nos pavimentos flexíveis, dentre eles: as cargas impostas ao pavimento, a espessura das camadas, o tipo de material utilizado, o tipo de subleito e a frequência de manutenção da via. Avaliando de tal forma pode-se observar que dentre os fatores, alguns são totalmente influenciados através da escolha do dimensionamento do pavimento, trazendo a responsabilidade técnica para as decisões feitas pelo responsável.

Os pavimentos flexíveis são comumente associados a componentes asfálticos, são compostos por camada de rolamento (superficial), base, sub-base e reforço do subleito, caracterizados por componentes granulares (KOSTULSKI, 2017). Ainda há a pavimentos constituídos de blocos intertravados e paralelepípedos.

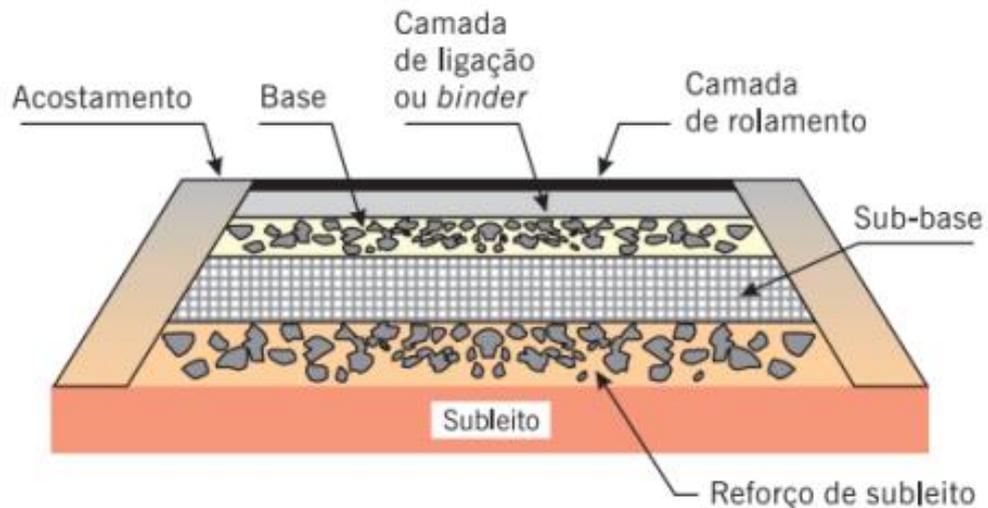
3.2 Estrutura das camadas do pavimento flexível

As camadas dos pavimentos flexíveis não são fixas, podendo assim ter diferentes espessuras, sendo de materiais compactados a partir do subleito (BALBO, 2007). Tal constatação reforça ainda mais a necessidade da adoção de um dimensionamento para que, segundo Fernandes (2016), de forma eficiente se possua a espessura das camadas e uma garantia quanto ao baixo custo e longevidade da vida do pavimento.

O pavimento flexível pode ser formado por cinco distintas camadas, variando de acordo com o CBR (California Bearing Ratio) do subleito. Tais camadas são: subleito, reforço

do subleito, sub-base, base e camada de rolamento (revestimento asfáltico). As camadas podem ser esquematizadas na figura 1.

Figura 1 – Estrutura das camadas do pavimento flexível



Fonte: BERNUCCI et. al. , 2010.

3.2.1 Subleito

O subleito é o terreno de fundação em que o pavimento encontra-se apoiado, trata-se de material natural compactado e consolidado, responsável pela absorção dos esforços verticais transmitidos através das camadas repousam acima dela (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES, 2017). Os esforços absorvidos pelo subleito serão transmitidos ao longo de sua profundidade, que teoricamente é infinita (DNIT, 2006), de forma que as demais camadas recebam a maior parte da carga imposta e apresentada no bulbo de tensões.

Segundo a CNT (2017), há uma camada de regularização necessária que deverá ser constituída do mesmo material natural do subleito ou de jazidas de empréstimo, atendendo as normas de materiais e transportes do DNIT. Podendo ser uma simples terraplanagem ou uma camada de espessura inferior a 20 centímetros, a fim de corrigir grandes defeitos no solo.

3.2.2 Reforço do Subleito

O reforço do subleito é uma camada localizada acima do subleito, que quando necessária, tem função de reduzir as cargas transmitidas para o subleito (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES, 2017). Geralmente se faz necessário quando o leito natural é fraco ou a carga é demasiada grande, tornando-o necessária adoção de tal parâmetro.

Segundo o Manual do DNIT (2006), visando o método de dimensionamento, é necessária a utilização do reforço em subleitos que apresentem Índice de Resistência Califórnia. Pode-se ainda utilizar tal artifício para reduzir o alto custo gerado a partir de bases e sub-bases com grandes espessuras (BALBO, 2007).

3.2.3 Sub-base

Tem finalidade de reduzir a espessura da camada de base, podendo possuir materiais idênticos a base, porém com a principal finalidade reduzir os custos (BALBO, 2007). Continua a receber os esforços advindos da camada de rolamento com a finalidade transportar tais cargas até o subleito.

O material empregado tem finalidade e qualidade superior às camadas de reforço e subleito, podem ser constituídas através de solos estabilizados granulometricamente ou com a presença de aglomerantes (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES, 2017). E ainda desempenham função de impedir o avanço da água através da capilaridade, utilizando materiais específicos.

3.2.4 Base

Camada responsável por absorção da maior parte de carga, feita sob o revestimento e possuindo materiais de ótimas características técnicas, principalmente para serem capazes de transmitir as altas cargas para as camadas subsequentes. Segundo a CNT (2017) a resistência da camada está ligada a rigidez e resistência dos materiais escolhidos, bem como a espessura determinada em dimensionamento.

Podem ser compostas por solos estabilizados naturalmente, quimicamente e misturas de agregados (FERNANDES, 2016). Para esta camada o fato de receber o revestimento, em muitos casos asfálticos, por se tratar de um pavimento flexível, se faz necessária a utilização

de materiais entre as camadas para proteção da mesma (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES, 2017).

Tal proteção é composta por pinturas de ligação e imprimações, ambas constituídas de materiais asfálticos com finalidade de melhorar a aderência dos materiais e proteger a camada da interferência da água, respectivamente.

3.2.5 Revestimento

O revestimento é o responsável pelo recebimento das cargas estáticas e dinâmicas impostas sem apresentar altas deformações elásticas ou plásticas, devendo não ocorrer deterioração, desprendimento de material ou perda de sua compactação (FERNANDES, 2016) de tal forma que garanta a transmissão das cargas para as outras camadas e a qualidade do conforto gerado na camada de rolamento.

Tem a possibilidade de possuírem mais de uma camada, possuindo características diferentes que auxiliam nas propriedades, assim fazendo com que o pavimento suporte as cargas ao longo do tempo. Deve, também, ser o mais impermeável possível, evitando que os materiais se degradem e a água atinja as demais camadas, gerando patologias estruturais.

Segundo a CNT (2017), a camada denominada de revestimento pode ter diferentes tipos de finalidade, recebendo cada uma um nome distinto de acordo com sua finalidade. A pintura de ligação tem finalidade de promover a melhor aderência entre as camadas, recebendo compactação entre eles. A camada de nivelamento é a primeira camada com a finalidade de nivelar possíveis imperfeições ao longo do terreno. A camada de rolamento é a última camada que terá contato direto com o processo de rolamento, que com o passar do tempo e presença de patologias, há de necessitar a aplicação de uma camada de reforço como forma de intervenção, garantindo que a via agüente o tempo previsto em projeto.

3.3 Dimensionamento de pavimentos flexíveis

Dimensionar um pavimento trata-se de determinar as espessuras das camadas a serem implantadas ao pavimento, bem como determinar a composição dos materiais utilizados, sendo assim possível a criação de uma estrutura com capacidade de resistência ao volume de carga imposto ao resultado final (BALBO, 2007).

Outro critério importante é retratado por Benevides (2000) e Domingos (2007), onde retratam a importância da escolha do tipo de material, trazendo em tela o conceito de vida útil

do pavimento, que é a capacidade do pavimento de receber as cargas em relação ao tempo que as degradações e defeitos estruturais e funcionais apareceriam e problematizariam a utilização do pavimento (FERNANDES, 2016).

Segundo Fernandes (2016), para o Brasil, o método de dimensionamento de pavimentos mais aceito e utilizado é o método do antigo DNER (1966) que utiliza como base as curvas de dimensionamento da USACE (Corpos de Engenheiros Militares dos Estados Unidos) e o critério de CBR (MEDINA, 1997). Estabelecendo um método empírico através da experimentação, correlacionando o desempenho obtido com materiais que compõem os pavimentos.

De forma que a estrutura do pavimento está totalmente relacionada com a escolha do método de dimensionamento, atentando-se para variáveis como clima, disponibilidade de materiais e resistência do solo, fatores que devem guiar a correta escolha para cada situação e local.

3.3.1 Método de dimensionamento do DNIT

O método de dimensionamento do DNIT foi primeiramente adotado pelo DNER (1998), tendo base no critério do CBR (MEDINA, 1997) e na padronização de um eixo de 8,2 tf, bem como a utilização de um coeficiente de equivalência estrutural obtido através de pistas experimentais da AASHTO. O processo se trata de um método empírico totalmente voltado para experimentação.

As variáveis descritas no método buscam principalmente a carga imposta ao pavimento, caracterizada pela repetição de carga (N) e a resistência do solo caracterizada pelo CBR. O método do DNIT (2006), é totalmente baseado na resistência do solo, logo com a maior variação da resistência do subleito, temos uma variação maior das camadas obtidas através do método do dimensionamento.

3.3.2 Método de dimensionamento do INVIAS

Esse é um método criado pelo Instituto Nacional de Vias da Colômbia de forma a uniformizar o dimensionamento e os critérios necessários em projeto para o país. O manual possui guia de procedimentos para realização de um projeto de estradas com revestimento flexível, porém diferente do método do DNIT (2006), este possui tabelas contendo as

espessuras de cada camada, que de acordo com critérios de dimensionamento adotam-se os parâmetros presentes no catálogo.

Este método utiliza a uniformização dos eixos para um eixo padrão de 8,2 toneladas, de forma a avaliar o tráfego, podendo ser aferido através do Manual de desenho de pavimentos com médios e altos volumes de trânsito (INVIAS, 2017).

4 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado o processo metodológico realizado na execução da pesquisa, apresentando o fator de escolha que culminou na seleção das características que guiariam o processo de dimensionamento, bem como a justificativa para sua utilização e apresentação das variáveis de estudo.

4.1 Planejamento

O trabalho será estruturado em dois segmentos de análise, o primeiro se dará através do dimensionamento de seis pavimentos pelo método do DNIT (2006), atualmente o método mais utilizado no Brasil, seis pavimentos através do método do INVIAS (2017), utilizado na Colômbia. Foram escolhidos estes procedimentos por serem utilizados na América e possuírem situações, climas e variações de temperatura similares de forma a utilizar a máxima acurácia do método empírico em que ambos são baseados.

Para o dimensionamento foram adotados números N iguais à 1×10^4 , 1×10^6 e 1×10^8 . Variando de acordo com um CBR de 3% e 8%. Os valores adotados para o experimento foram escolhidos por estarem em um intervalo de acordo com várias combinações possíveis de eixos, abrangendo uma grande parte dos pavimentos dimensionados e em funcionamento. Após o devido dimensionamento, seguindo as diretrizes dos métodos do DNIT (2006), INVIAS (2017). O segundo viés de análise se baseará na análise de custo, feita através da orçamentação das infraestruturas obtidas pelos dimensionamentos. A previsão de custo se dará com o auxílio da ferramenta SICRO (DNIT, 2017), que dispõe dos valores para os materiais selecionados.

Tabela 1 – Valores de repetições de carga adotados para dimensionamento

Repetições de Carga (Número N)
1×10^4
1×10^6
1×10^8

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Tabela 2 – Valores adotados para dimensionamento

Valores de CBR (California Bearing Ratio)
3%
8%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A figura 2 mostra o fluxograma que irá guiar toda a pesquisa e dimensionamento dos pavimentos, utilizando as variáveis estipuladas na tabela 1 e 2.

Figura 2 – Fluxograma de atividades

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.2 Escolha da área utilizada

De forma a escolher uma área com alto volume de tráfego, foi escolhida a cidade de João Pessoa – PB, sendo a capital do estado encontra-se em grande crescimento urbano tendo uma demanda alta de implantações de pavimentos. Para a análise em questão, principalmente para o dimensionamento pelo método do INVIAS (2017), foi necessária a obtenção de dados do clima da região estudada.

A climatologia do estado da Paraíba, em particular a cidade de João Pessoa possui precipitação média anual entre 1778,2 mm por ano e uma temperatura média de 26,3° C. Os dados são encontrados na tabela 3.

Tabela 3 – Variável de entrada do clima da cidade de João Pessoa – PB

Precipitação média anual (mm)	Temperatura média anual (°C)
1778,2	26,3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.3 Escolha do material das camadas dos pavimentos para o método INVIAS

Para padronizar o processo de dimensionamento, bem como ter uma forma mais eficiente de comparar a espessuras das camadas obtidas através dos dois dimensionamentos, é necessário à escolha dos materiais que constituíntes das camadas de base, sub-base e revestimento. O critério de escolha foi baseado na premissa da facilidade de se obter os materiais, como foi escolhida a cidade de João Pessoa – PB foram adotados os materiais dispostos na tabela 4.

Tabela 4 – Materiais para dimensionamento do método INVIAS

Camadas	Materiais	Especificações	Código
Sub-base	Agregado Graúdo	DNIT 141/2010 - ES	SBG
Base	Material Britado	DNIT 141/2010 - ES	BG
Revestimento	CAUQ	DNIT 036/2006 - ES	MDC – 19 e MDC 25

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Para o revestimento foi escolhido uma capa de CAUQ (Cimento Asfáltico Usinado a Quente) estabelecida entra a faixa C, segundo a Norma do DNIT 036/2006 – ES. Possuindo uma granulometria mais fechada, e mais utilizada para a camada de rolamento. As demais camadas receberam um tratamento de solos estabilizados granulometricamente, ambas especificadas pela Norma do DNIT 141/2010 – ES.

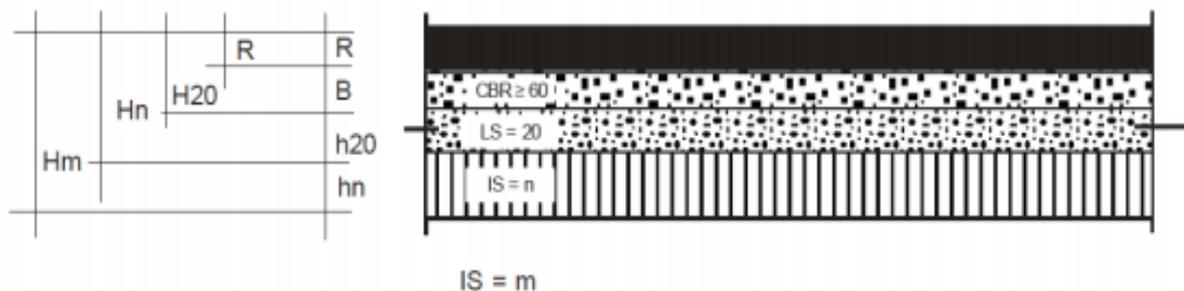
4.4 Dimensionamento pelo método do DNIT (2006)

O manual de dimensionamento do DNIT é um método brasileiro de dimensionamento de pavimentos pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), no ano de 1981, que sofreu alterações para atualizar os valores de cargas em que o pavimento poderia a ser exposto (DNIT, 2006). O método desenvolvido foi baseado no trabalho realizado pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América. O método avalia o tráfego e fator climático regional retornando através dos ábacos a espessura

mínima de revestimento betuminoso necessário bem como a espessura total do pavimento, compreendendo a base, sub-base e reforço do subleito, caso seja necessário.

Para a realização do procedimento, como foram adotados valores de números N, entra-se com os valores presentes na figura 4, de forma a obter as respectivas espessuras dos revestimentos. A representação da camada pode ser observada através da figura 3, qual discrimina e identifica as variáveis consideradas para seu cálculo.

Figura 3 – Espessuras das camadas para revestimentos asfálticos



Fonte: DNIT, 2006.

Tabela 5 – Espessuras mínimas para revestimentos asfálticos

Espessuras Mínimas de Revestimentos Asfálticos		
N (repetições) do ESRD de 80 kN	Tipo de Revestimento	Espessura (mm)
$\leq 10^6$	Tratamentos superficiais	15 a 30
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	CA, PMQ, PMF	50
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto asfáltico	75
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico	100
$N \geq 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico	125

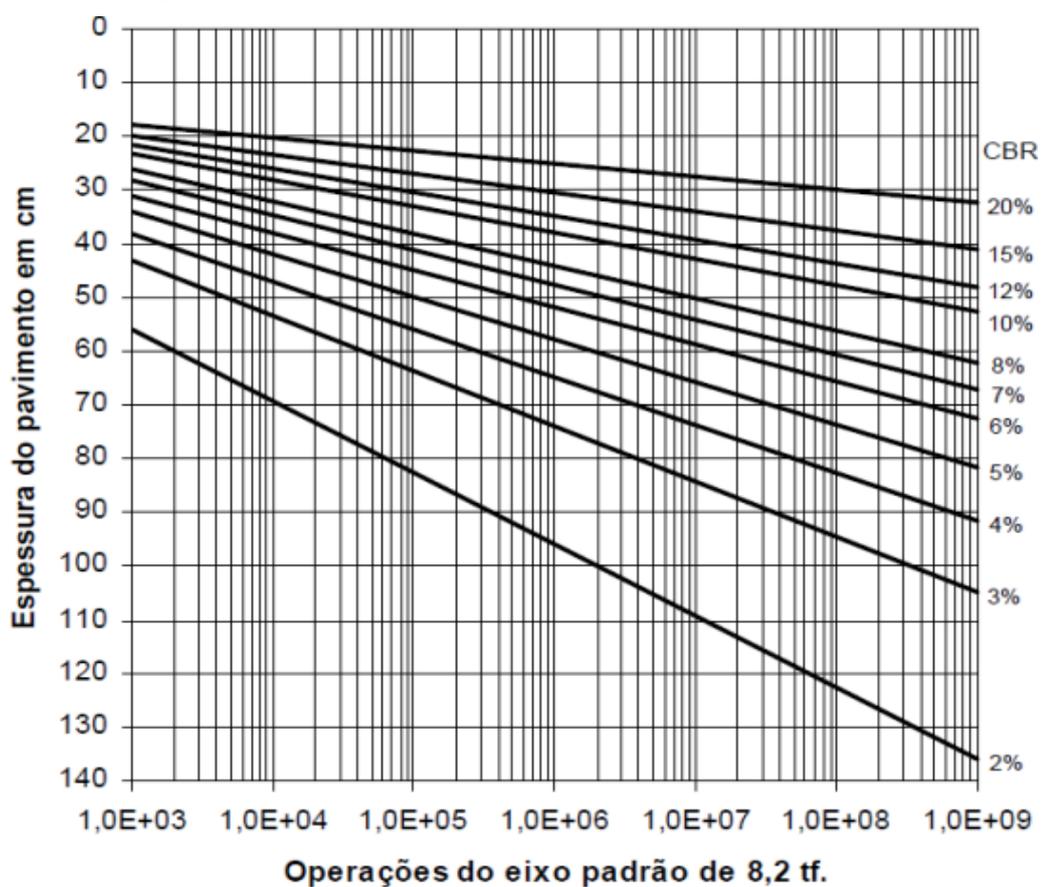
Fonte: DNER, 1981.

A tabela 6, obtida através do Manual de dimensionamento do DNER (1981), contempla os coeficientes necessários para calcular as espessuras das camadas, variando de acordo com a nobreza da camada e resistência do material obtido. Com o revestimento escolhido e espessura adotada, pode-se dar continuidade aos procedimentos, apresentando os valores de CBR e número N, de forma a obter pelo ábaco presente na figura 4.

Tabela 6 – Coeficiente K em função do tipo de material adotado

Componentes do Pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento do 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	0,77 a 1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 Kg/cm ²	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias entre 45 Kg/cm ² e 28 Kg/cm ²	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias entre 28 Kg/cm ² e 21 Kg/cm ²	1,20

Fonte: DNER, 1981.

Figura 4 – Ábaco para dimensionamento em função do CBR e N

Fonte: SOUZA, 1981 apud BEZERRA NETO, 2004.

O valor referente à espessura H_n e H_{20} do pavimento é encontrado através dos ábacos e tabelas para dimensionamento. Ao apresentar o número N e CBR do subsolo e delimitando um CBR mínimo para a sub-base de 20%. Pode-se encontrar:

$$Rk_r + Bk_b \geq H_{20} \quad (1)$$

$$Rk_r + Bk_b + h_{20}k_s \geq H_n \quad (2)$$

Onde:

K_r , K_b e K_s são coeficientes de equivalência estrutural dos materiais encontrados no pavimento.

R , B , h_{20} e h_n são as espessuras do revestimento, base, sub-base e reforço do subleito, respectivamente.

4.4 Dimensionamento pelo método do INVIAS (2017)

Esse é um método criado pelo Instituto Nacional de Vias da Colômbia de forma a uniformizar o dimensionamento e os critérios necessários em projeto para o país. O manual possui guia de procedimentos para realizar um projeto de estradas com revestimento flexível, porém diferente do método do DNER, este possui tabelas contendo as espessuras de cada camada, que de acordo com critérios de dimensionamento adotam-se os parâmetros presentes no catálogo.

Este método utiliza a uniformização dos eixos para um eixo padrão de 8,2 toneladas, de forma a avaliar o tráfego. Como já se conhece os valores de número N , pode-se classificar o tráfego segundo a figura 5.

Figura 5 – Classe de tráfego de acordo com o número N

Classe de tráfego	$N_{8,2}$ [milhões de eixos-padrão]
T1	0,5 – 1
T2	1 – 2
T3	2 – 4
T4	4 – 6
T5	6 – 10
T6	10 – 15
T7	15 – 20
T8	20 – 30
T9	30 - 40

Fonte: INVIAS, 2017.

Confere-se a região climática em que a estrada esta inserida, para que seja avaliada a classe de agressividade em que a mesma se encontrará. A informação pode ser aferida através da utilização da tabela 7. Caracteriza-se pela temperatura e precipitação média da região em que se encontrará a via, logo a caracterização da região é tão importante quanto ao tipo do solo e o volume de tráfego.

Tabela 7 – Classificação da região em relação ao número N

Região	Características	Temperatura (°C)	Precipitação média anual (mm)
R1	Fria seca e fria semi-húmida	<13	<2000
R2	Temperado seco e temperado semi-húmido	13 – 20	<2000
R3	Quente seco e quente semi-húmido	20 – 30	<2000
R4	Temperado húmido	13 – 20	2000 – 4000
R5	Quente húmido	20 – 30	2000 – 4000
R6	Quente muito húmido	20 - 30	>4000

Fonte: INVIAS, 2017.

Obtendo os valores acima cabe retirar da tabela 8, a relação de resistência do solo, através do CBR obtendo a ultima variável para retirada do dimensionamento do catálogo do manual do INVIAS.

Tabela 8 – Classificação da classe de fundação

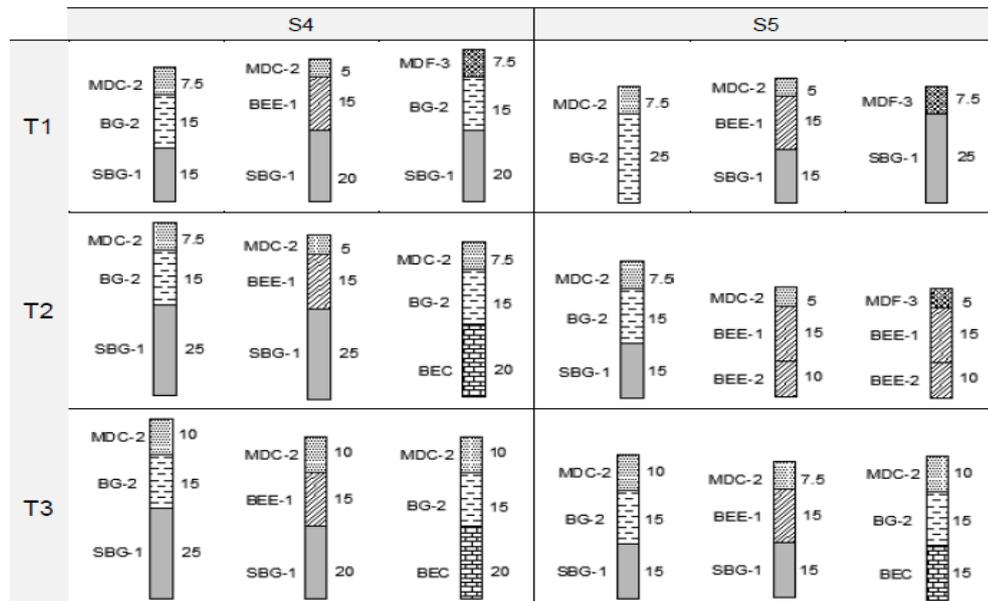
	Classe de fundação				
	S1	S2	S3	S4	S5
CBR [%]	3 – 5	5 – 7	7 – 10	10 – 15	>15
Módulo de deformabilidade, E [MPa]	30 – 50	50 – 70	70 - 100	100 – 150	>100

Fonte: INVIAS, 2017.

Ao se obter a classe de fundação em conjunto com os dados de tráfego e do clima pode-se utilizar do catálogo de dimensionamento (INVIAS, 2007) que dispões de diferentes tipos de materiais das camadas, para cada fator acima encontrado. Na figura 6, pode-se visualizar a forma de como o dimensionamento é feito, associando os fatores com espessuras

já definidas, de forma que os materiais sejam a forma de decisão final para implantação dos pavimentos.

Figura 6 – Exemplificação do catálogo do método INVIAS



Fonte: BARROSO, 2015 *adap* INVIAS 1981.

4.5 Orçamentação dos pavimentos

Para realizar a previsão de custo para os pavimentos selecionados, foi utilizada a ferramenta do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), denominada SICRO (DNIT, 2017), que atua em cada região apresentando os preços referentes aos custos para implantação de pavimentos. De tal forma que fosse possível avaliar a diferença de custo entre os dois métodos, além de comparar as espessuras das camadas, para o método do INVIAS (2017) e DNIT (2006).

A orçamentação feita encontra-se nos apêndices A, B, C e D.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Dimensionamentos pelo método do DNIT (2006)

Para o método do DNIT (2006), foram analisados os dados de entrada presentes nas tabelas 1 e 2, de forma que foram feitos seis dimensionamentos, três para cada tipo de CBR analisado. As cargas utilizadas variaram entre leves, médias e pesadas, para que de tal forma possa-se obter um resultado quando a variação das espessuras das camadas obtidas pelo método.

Utilizando o ábaco, presente na figura 4, pode-se realizar o cálculo das espessuras. A tabela 9 encontra-se os resultados obtidos para o CBR de 3%, variando a carga de 1×10^4 , 1×10^6 e 1×10^8 de repetições de eixos de 8,2 tf.

Tabela 9 – Espessuras das camadas para o método do DNIT (2006), com CBR de 3%

CBR (California Bearing Raitio) = 3%			
	N = 1×10^4	N = 1×10^6	N = 1×10^8
Sub-base	32 cm	50 cm	60 cm
Base	20 cm	20 cm	25 cm
Revestimento	3 cm	5 cm	12,5 cm

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O procedimento para o CBR de 8% foi idêntico ao realizado para o de 3%, porém é notável a redução da espessura das camadas mesmo com altas cargas expostas ao pavimento. Tal acontecimento ocorre pelo fato da melhora do CBR e da mudança para um revestimento mais resistente de 12,5 centímetros de espessura. Os resultados quanto ao dimensionamento encontram-se na tabela 10.

Tabela 10 – Espessuras das camadas para o método do DNIT (2006), com CBR de 8%

CBR (California Bearing Raitio) = 8%			
	N = 1×10^4	N = 1×10^6	N = 1×10^8
Sub-base	20 cm	25 cm	20 cm
Base	10 cm	15 cm	15 cm
Revestimento	3 cm	5 cm	12,5 cm

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O método apresenta pavimentos com espessuras totais até 95 centímetros, o que demonstra uma grande interferência da qualidade do solo para a redução das espessuras das camadas.

5.2 Dimensionamentos pelo método do INVIAS (2017)

Através do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis para médias e altas cargas da Colômbia (INVIAS, 2017), podem-se analisar as espessuras geradas através do catálogo de dimensionamento. O processo de dimensionamento do método é bastante interessante, pois se baseia em três principais fatores: clima, a carga imposta ao pavimento e a resistência do solo.

Assim como o método do DNIT (2006), o método colombiano utiliza seus cálculos baseados no CBR e na contabilização da repetição de eixos de 8,2 tf. Utilizando o catálogo de dimensionamento para temperaturas de 26 a 30°C (INVIAS, 2017), tem-se o resultados expostos nas tabelas 11 e 12.

Tabela 11 – Espessuras das camadas para o método do INVIAS (2017), com CBR de 3%

	CBR (California Bearing Raitio) = 3% (S1)		
	N = 1x10 ⁴	N = 1x10 ⁶	N = 1x10 ⁸
Sub-base	30 cm	30 cm	35 cm
Base	20 cm	20 cm	30 cm
1° Revestimento	7,5 cm	7,5 cm	10 cm
2° Revestimento	6 cm	6 cm	9 cm
3° Revestimento	-	-	7,5 cm

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Tabela 12 – Espessuras das camadas para o método do INVIAS (2017), com CBR de 8%

	CBR (California Bearing Raitio) = 8% (S3)		
	N = 1x10 ⁴	N = 1x10 ⁶	N = 1x10 ⁸
Sub-base	30 cm	30 cm	35 cm
Base	20 cm	20 cm	25 cm
1° Revestimento	7,5 cm	7,5 cm	10 cm
2° Revestimento	6 cm	6 cm	9 cm
3° Revestimento	-	-	7,5 cm

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Ao observar os resultados observa-se que o mínimo valor obtido para a camada de revestimento foi de 12,5 centímetros, que se comparado ao método do DNIT, proporciona uma grande disparidade visto que este é o valor máximo que se pode obter para a mesma

camada utilizando o método do DNIT, uma vez que a por experimentação o método apresenta a tabela variando de 3 a 12,5 centímetros.

5.2 Análises de custo

A análise de custo para com os dimensionamentos dos pavimentos realizados pelos métodos do DNIT e INVIAS foi baseada em uma via de 1 km de comprimento por 7 metros de largura, estrada considerada padrão. O estudo do custo através dos métodos proporciona uma análise profunda quanto ao fator crítico para os gastos dentro de um pavimento. As análises foram feitas através dos valores disponíveis na ferramenta SICRO (DNIT, 2017), que provem composições com o custo completo para realização do pavimento em cada insumo e valor de mão de obra.

Os dados acareados condizem ao mês de Julho do ano de 2019, referente ao estado da Paraíba-PB (DNIT, 2006). A tabela 13, 14 e 15 apresentam os valores dos pavimentos para ambos CBR (3 e 8%) e para as variações de cargas.

Tabela 13 – Custo do km do pavimento para um $N = 1 \times 10^4$

Método	CBR = 3%	CBR = 8%
DNIT (2006)	R\$ 579.121,20	R\$ 343.378,00
INVIAS (2017)	R\$ 871.485,55	R\$ 792.892,62

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Tabela 14 – Custo do km do pavimento para um $N = 1 \times 10^6$

Método	CBR = 3%	CBR = 8%
DNIT (2006)	R\$ 825.191,50	R\$ 638.589,00
INVIAS (2017)	R\$ 871.485,55	R\$ 792.782,62

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Tabela 15 – Custo do km do pavimento para um $N = 1 \times 10^8$

Método	CBR = 3%	CBR = 8%
DNIT (2006)	R\$ 1.164.088,10	R\$ 628.308,10
INVIAS (2017)	R\$ 1.224.301,23	R\$ 1.170.723,23

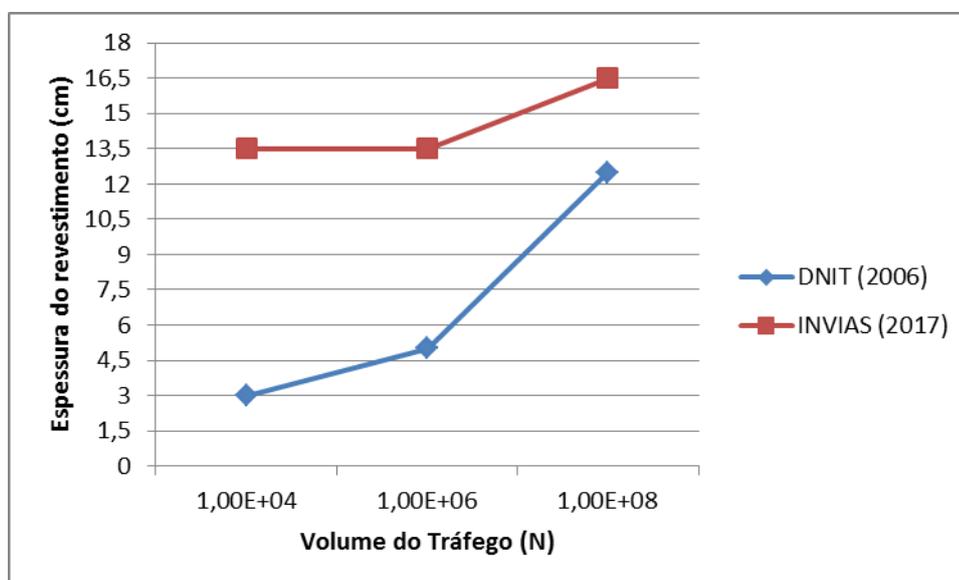
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.3 Comparativo entre as espessuras dos pavimentos

De acordo com os resultados obtidos pelo dimensionamento dos métodos, explicitamente nas tabelas 11 e 12, que o método INVIAS (2017) apresenta maiores espessuras de revestimentos que o método do DNIT (2006), tal fator se explica pelo método do DNIT não apresentar variação de espessura mesmo com o aumento da carga exposta em seu pavimento, refletindo assim nas espessuras das camadas inferiores (base e sub-base), justificado por apresentar maiores espessuras em tais camadas.

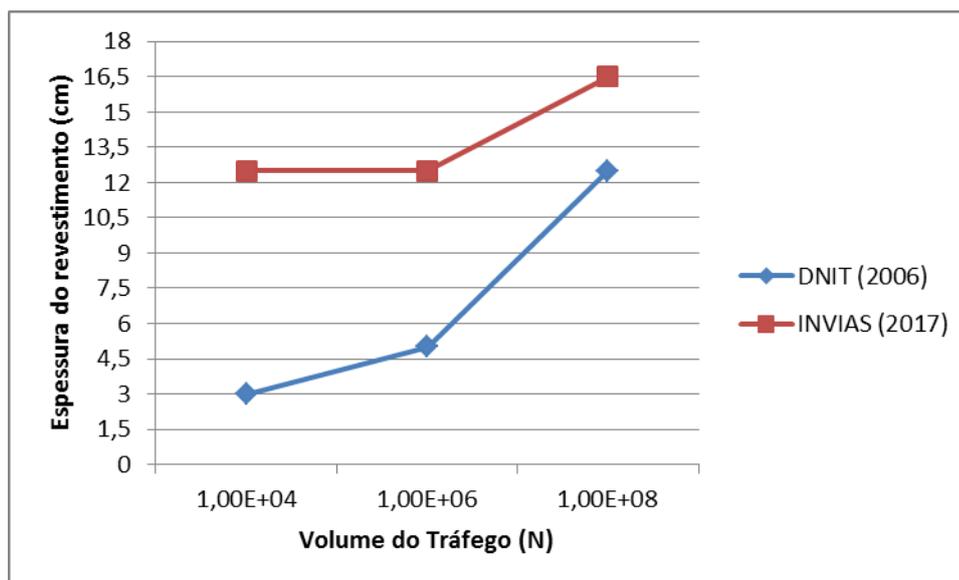
Os gráficos representados nas figuras 7 e 8 para os dois tipos de solo com CBR de 3% e 8% e utilizam de artifícios gráficos para apresentar o comparativo entre as espessuras dos revestimentos.

Figura 7 – Comparativo entre a espessura de revestimento para CBR = 3%



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

É perceptível que as espessuras obtidas pelo método do DNIT são mais delgadas que as do INVIAS, e tal acontecimento reflete na espessura das outras camadas que por sua vez tem de reforçar o pavimento, apresentando assim camadas de base e sub-base grandes em demasia. Segundo Balbo (2007), tal resultado encontrado pelo método do DNIT, resulta em uma camada de rolamento frágil, principalmente contra as forças verticais, provocando patologias precoces e reduzindo a vida útil do pavimento.

Figura 8 – Comparativo entre a espessura de revestimento para CBR = 8%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Outra análise válida para o problema é que ao variar a resistência do solo, o método INVIAS (2017) apresenta uma redução nas espessuras de base, sub-base e revestimento do pavimento de forma significativa, provando que o método se adapta melhor a altas cargas, enquanto o método do DNIT não há alteração nas espessuras de revestimento, mantendo os mesmos valores padrões, entretanto também apresentando redução considerável nas espessuras de base e sub-base, como pode ser constatado nas tabelas 11 e 12.

Outra afirmação é que a melhoria do CBR do subleito é inversamente proporcional a redução das espessuras, sendo a maior ação responsável pela redução das camadas presentes em um pavimento.

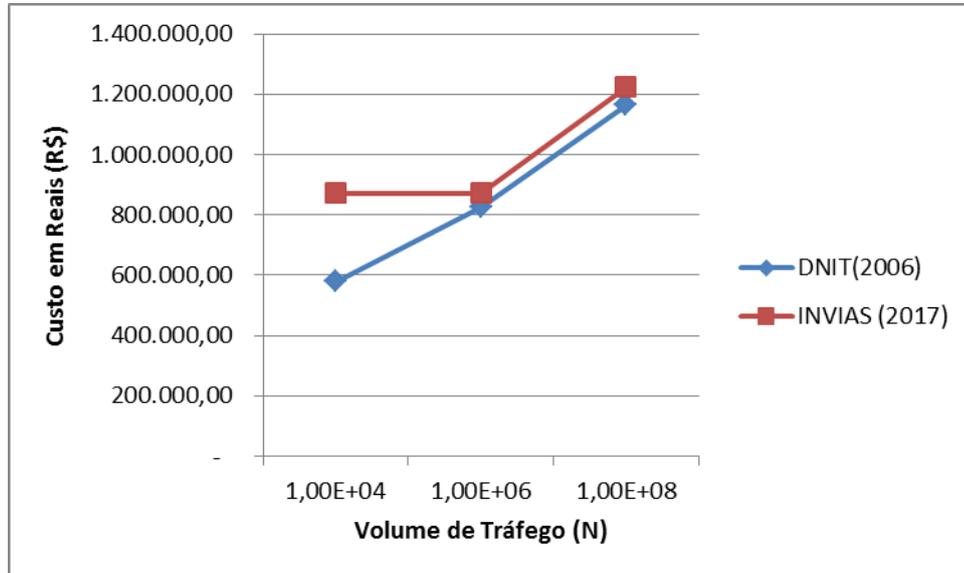
5.4 Comparativos de custos executivos entre os pavimentos dimensionados

Qualquer obra que seja relacionada a pavimentação traz certo temor, principalmente por participar de grande parte do orçamento, seja um simples município até uma Unidade Federativa, para tal, cabe no estudo de comparações de espessuras de camadas a influência de grandes espessuras em uma análise orçamentária.

Analisando as tabelas 11 e 12, pode-se ver que assim como com há a redução nas camadas do pavimento há a redução do valor orçamentário. E que os métodos que apresentam dimensionamentos com maiores espessuras nos revestimentos apresentam maiores valores

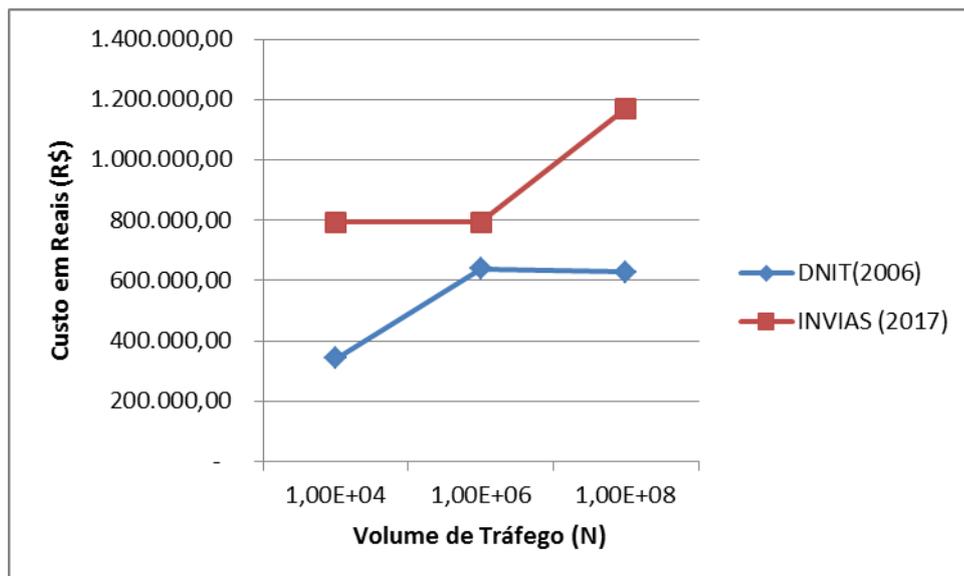
orçamentários. Através dos gráficos presentes nas figuras 9 e 10, pode-se melhor visualizar tal redução.

Figura 9 – Comparativo de custo entre a espessura de revestimento para CBR = 3%



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 10 – Comparativo de custo entre a espessura de revestimento para CBR = 8%



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Ao observar os dois gráficos presentes nas figuras 9 e 10, pode-se verificar que há a tendência de redução do valor orçamentário para ambos os métodos, porém apenas o método do DNIT (2006) apresenta uma significativa redução. Isso se justifica pela impossibilidade de

aumento do valor da espessura do revestimento, que auxiliado pela melhoria da resistência do solo alivia as o esforço das outras camadas. O INVIAS possui um método contrário, sobrecarregam as camadas de revestimento, que segundo Fernandes (2016) são constituídos em sua maioria por materiais asfálticos, e mantem as camadas granulares uniformes. Isso, entretanto encarece o processo executivo de construções de pavimentos.

6 CONCLUSÃO

Diante da problemática relacionada à concepção de um método de dimensionamento de pavimentos flexíveis, para implantação, eficiente que garanta a vida útil do pavimento, bem como ofereça uma alternativa barata para construção de pavimentos será de grande importância para a melhoria da qualidade da malha rodoviária brasileira, segundo o CNT (2018) apenas 12,8% da malha encontra-se pavimentada e 57% dos trechos apresentam problemas.

Cabe então a fiscalização para municípios e estados que utiliza de verbas federais, exigirem dimensionamento para pavimentos, evitando a utilização de espessuras pré-programadas que resultam em patologias antes do fim da vida útil do pavimento. Sendo assim, se torna de extrema importância que a forma de gerir seja integrada obtenha conhecimentos técnicos.

Ao avaliar os dois métodos, percebe-se que o INVIAS (2017) possui um catálogo de dimensionamento específico para região Colombiana com espessuras que limitam a utilização em outros locais, e mesmo não sendo feito para o Brasil, pode sim ser utilizado.

Em comparação com o INVIAS, o método do DNIT ainda se sobressai pelo fato de transferir as maiores espessuras para as camadas subjacentes, evitando que a camada de revestimento possua grandes espessuras. Através de uma análise estrutural os pavimentos com maiores espessuras tendem a obter melhores resultados, porém para as cargas expostas no estudo o método do INVIAS se torna caro, porque mesmo sob cargas consideradas leves, apresenta grandes espessuras de revestimento.

Sob um olhar financeiro o método do DNIT se saiu melhor pelo fato de que a menor espessura geraria proporcionalmente um valor orçamentário menor. Principalmente porque, segundo Fernandes (2016), os custos dos materiais feitos de ligantes asfálticos representam em torno de 17% a 32% do valor final. Além de uma análise de custo deve ser feita uma análise quando a atualização técnica dos métodos, principalmente da relação espessura do revestimento com a carga de tráfego (N), já que atualmente já se existe eixos mais pesados que prejudicam o dimensionamento que não os consideram.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7202/1982:** Terminologia e classificação de pavimentação. Rio de Janeiro: ABNT, 1982

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

BENEVIDES, S. A. S.; **Análise comparativa dos métodos de dimensionamento de pavimentos asfálticos: empírico do dner e da resiliência da coppe/ufrj em rodovias do estado do ceará.** Dissertação Mestrado COPPE. UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, 2000.

BEZERRA NETO, R. S; **Análise comparativa de pavimentos dimensionados através do métodos empírico do dner e mecanístico e proposta de um catálogo simplificado de pavimentos para a região de campo grande (ms).** Dissertação de mestrado Escola de Engenharia São Carlos. USP, São Carlos, SP, 2004.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Pesquisa CNT Rodovias 2018.** Relatório Geral. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/pesquisa-cnt-rodovias-2018-indica-57-trechos-apresentam-problemas>. Acessado em: 7 dez 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Pesquisa CNT Rodovias 2018.** Relatório Geral. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/pesquisa-cnt-rodovias-2018-indica-57-trechos-apresentam-problemas>. Acessado em: 7 dez 2019.

DEPARTAMENTO DE INFRAESTRUTURAS DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação.** Instituto de pesquisas rodoviárias. Rio de Janeiro, RJ, 2006.

DEPARTAMENTO DE INFRAESTRUTURAS DE TRANSPORTES. **Sistemas de custo de Rodoviários – Região Nordeste.** Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-1>. Acessado em: 8 dez 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos.** Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Rio de Janeiro, RJ, 1998).

DOMINGOS, P. M. G. **Reforço de Pavimentos Rígidos: Modelação do comportamento Estrutural.** Instituto Superior Técnico. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa, 2007.

FRANCO, F.A.C.P., **Método de Dimensionamento Mecânico-Empírico de Pavimentos Asfálticos – SisPav.** Tese de D.Sc. COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.

FERNANDES, W. D., **Análise comparativa entre os métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis do brasil e o método da aashto.** Dissertação Mestrado, UFSM, Rio Grande do Sul, RS, 2016.

GONÇALVES, F. P. **O Desempenho dos Pavimentos Flexíveis**. UPF. Passo Fundo, RS, 1999.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. **Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos em Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito**. Dirección Técnica de Estudios e Innovación. Popayán, Cauca, Colômbia, 2017.

KOSTULSKI, A.M.; KLAMT, R.A; BUDNY, J. **ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND, BLOCOS INTERTRAVADOS E CONCRETO ASFÁLTICO**. Cricte, 2017

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos Pavimentos**. 3º Ed. Editora Interferência. Rio de Janeiro, RJ, 1997.

SOUZA, M. L. **Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. IPR. Rio de Janeiro, RJ, 1981

APÊNDICE A – Cálculos do Método de dimensionamento do DNIT

DIMENSIONAMENTO PELO MÉTODO DO DNIT (2006)							
CBR 3%							
N = 10 ⁴							
R	3,00 cm	kr	2	R	3,00 cm	kr	2
B	18,18 cm	kb	0,77	B	18,18 cm	kb	0,77
h20	35,00 cm	ks	1	H20	20,00 cm	ks	1
hn	55,00 cm						
ADOTADO							
R	3,00 cm						
B	20,00 cm						
SB	32,00 cm						
N = 10 ⁶							
R	5,00 cm	kr	2	R	5,00 cm	kr	2
B	16,88 cm	kb	0,77	B	16,88 cm	kb	0,77
h20	52,00 cm	ks	1	H20	23,00 cm	ks	1
hn	75,00 cm						
ADOTADO							
R	5,00 cm						
B	20,00 cm						
SB	50,00 cm						
N = 10 ⁸							
R	12,50 cm	kr	2	R	12,50 cm	kr	2
B	14,29 cm	kb	0,77	B	14,29 cm	kb	0,77
h20	59,00 cm	ks	1	H20	36,00 cm	ks	1
hn	95,00 cm						
ADOTADO							
R	12,50 cm						
B	25,00 cm						
SB	60,00 cm						
CBR 8%							
N = 10 ⁴							
R	3,00 cm	kr	2	R	3,00 cm	kr	2
B	18,18 cm	kb	0,77	B	18,18 cm	kb	0,77
h20	12,00 cm	ks	1	H20	20,00 cm	ks	1
hn	32,00 cm						

ADOTADO									
R	3,00 cm								
B	10,00 cm								
SB	20,00 cm								
N = 10 ⁶									
R		5,00 cm	kr	2	R		5,00 cm	kr	2
B		19,48 cm	kb	0,77	B		19,48 cm	kb	0,77
h20		20,00 cm	ks	1	H20		25,00 cm	ks	1
hn		45,00 cm							
ADOTADO									
R	5,00 cm								
B	15,00 cm								
SB	25,00 cm								
N = 10 ⁸									
R		12,50 cm	kr	2	R		12,50 cm	kr	2
B		14,29 cm	kb	0,77	B		14,29 cm	kb	0,77
h20		19,00 cm	ks	1	H20		36,00 cm	ks	1
hn		55,00 cm							
ADOTADO									
R	12,50 cm								
B	15,00 cm								
SB	20,00 cm								

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE B – Cálculos do Método de dimensionamento do INVIAS

DIMENSIONAMENTO PELO MÉTODO DO INVIAS (2017)		
Classificação de Tráfego		
N = 10 ⁴ (Baixo)	N = 10 ⁶ (Médio)	N = 10 ⁸ (Alto)
T1	T1	T9
Classificação de Região Climática		
Precipitação média = 1778,2 mm. Temperatura Média = 26,3 °C		
R3 (Quente seco e Quente úmido)		
Classificação da Classe de Fundação		
CBR 3%	S1	
CBR 8%	S3	
N = 10 ⁴ (T1, R3, S1)		
ADOTADO		Material
R1	6,00 cm	MDC - 19
R2	7,50 cm	MDC - 25
B	20,00 cm	BG
SB	30,00 cm	SBG
N = 10 ⁶ (T1, R3, S1)		
ADOTADO		Material
R1	6,00 cm	MDC - 19
R2	7,50 cm	MDC - 25
B	20,00 cm	BG
SB	30,00 cm	SBG
N = 10 ⁸ (T9,R3,S1)		
ADOTADO		Material
R1	7,50 cm	MDC - 19
R2	9,00 cm	MDC - 25
R3	10,00 cm	MDC - 25
B	30,00 cm	BG
SB	35,00 cm	SBG

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

CBR 8%		
N = 10 ⁴ (T1,R3,S3)		
ADOTADO		Material
R1	5,00 cm	MDC - 19
R2	7,50 cm	MDC - 25
B	20,00 cm	BG
SB	30,00 cm	SBG
N = 10 ⁶ (T1,R3,S3)		
ADOTADO		Material
R1	5,00 cm	MDC - 19
R2	7,50 cm	MDC - 25
B	20,00 cm	BG
SB	30,00 cm	SBG
N = 10 ⁸ (T9,R3,S3)		
ADOTADO		Material
R1	7,50 cm	MDC - 19
R2	9,00 cm	MDC - 25
R3	10,00 cm	MDC - 25
B	25,00 cm	BG
SB	35,00 cm	SBG

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Legenda	
MDC - 19	CAUQ - FAIXA C
MDC - 25	CAUQ - FAIXA B
MDC - 25	CAUQ - FAIXA B
BG	Material Britado
SBG	Material Granular

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE C – Cálculos Orçamentários do Método do DNIT

ORÇAMENTO DOS PAVIMENTOS PELO MÉTODO DO DNIT						
ITEM	DISCRIMINAÇÃO DOS SERVIÇOS	UNID.	QUANT.	PREÇO	TOTAL (R\$/km)	REFERÊNCIA
1.0	PAVIMENTO PARA CBR 3% e N = 10⁴				579.121,20	
1.1	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	2.240,00	153,08	342.899,20	SICRO - 4011276
1.2	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	1.400,00	153,08	214.312,00	SICRO - 4011276
1.3	Tratamento superficial simples com CAP - brita comercial.	m ²	7.000,00	1,25	8.750,00	SICRO - 4011356
1.4	Pintura de ligação com emulsão RR-1C	m ²	7.000,00	1,88	13.160,00	SICRO - 4011354
2.0	PAVIMENTO PARA CBR 3% e N = 10⁶				825.191,50	
2.1	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	3.500,00	153,08	535.780,00	SICRO - 4011276
2.2	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	1.400,00	153,08	214.312,00	SICRO - 4011276
2.3	Pré-misturado a frio - faixa A. Areia e Brita comerciais.	m ³	350,00	176,97	61.939,50	SICRO - 6416158
2.4	Pintura de ligação com emulsão RR-1C	m ²	7.000,00	1,88	13.160,00	SICRO - 4011354
3.0	PAVIMENTO PARA CBR 3% e N = 10⁸				1.164.088,10	
3.1	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	4.200,00	153,08	642.936,00	SICRO - 4011276
3.2	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	1.750,00	153,08	267.890,00	SICRO - 4011276
3.3	CAUQ - Concreto asfáltico - Faixa A. Brita e areia comerciais.	t	2.135,00	112,46	240.102,10	SICRO - 6416080
3.4	Pintura de ligação com emulsão RR-1C	m ²	7.000,00	1,88	13.160,00	SICRO - 4011354
4.0	PAVIMENTO PARA CBR 8% e N = 10⁴				343.378,00	
4.1	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	1.400,00	153,08	214.312,00	SICRO - 4011276
4.2	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	700,00	153,08	107.156,00	SICRO - 4011276
4.3	Tratamento superficial simples com CAP - brita comercial.	m ²	7.000,00	1,25	8.750,00	SICRO - 4011356
4.4	Pintura de ligação com emulsão RR-1C	m ²	7.000,00	1,88	13.160,00	SICRO - 4011354
5.0	PAVIMENTO PARA CBR 8% e N = 10⁶				638.589,00	
5.1	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	1.050,00	153,08	160.734,00	SICRO - 4011276
5.2	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	1.750,00	153,08	267.890,00	SICRO - 4011276
5.3	Pré-misturado a frio - faixa A. Areia e Brita comerciais.	m ³	1.750,00	112,46	196.805,00	SICRO - 6416158
5.4	Pintura de ligação com emulsão RR-1C	m ²	7.000,00	1,88	13.160,00	SICRO - 4011354
6.0	PAVIMENTO PARA CBR 8% e N = 10⁸				628.308,10	
6.1	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	1.400,00	153,08	214.312,00	SICRO - 4011276
6.2	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	1.050,00	153,08	160.734,00	SICRO - 4011276
6.3	CAUQ - Concreto asfáltico - Faixa A. Brita e areia comerciais.	t	2.135,00	112,46	240.102,10	SICRO - 6416080
6.4	Pintura de ligação com emulsão RR-1C	m ²	7.000,00	1,88	13.160,00	SICRO - 4011354

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE D – Cálculos Orçamentários do Método do INVIAS

ORÇAMENTO DOS PAVIMENTOS PELO MÉTODO DO INVIAS						
ITEM	DISCRIMINAÇÃO DOS SERVIÇOS	UNID.	QUANT.	PREÇO	TOTAL (R\$/km)	REFERÊNCIA
1.0	PAVIMENTO PARA CBR 3% e N = 10⁴				871.485,55	
1.1	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	2.100,00	153,08	321.468,00	SICRO - 4011276
1.2	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	1.400,00	153,08	214.312,00	SICRO - 4011276
1.3	CAUQ - Concreto asfáltico - Faixa B. Brita e areia comerciais.	t	1.281,00	116,84	149.672,04	SICRO - 6416143
1.4	CAUQ - Concreto asfáltico - Faixa A. Brita e areia comerciais.	t	1.537,20	112,46	172.873,51	SICRO - 6416080
1.5	Pintura de ligação com emulsão RR-1C	m ²	7.000,00	1,88	13.160,00	SICRO - 4011354
2.0	PAVIMENTO PARA CBR 3% e N = 10⁶				871.485,55	
2.1	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	2.100,00	153,08	321.468,00	SICRO - 4011276
2.2	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	1.400,00	153,08	214.312,00	SICRO - 4011276
2.3	CAUQ - Concreto asfáltico - Faixa B. Brita e areia comerciais.	t	1.281,00	116,84	149.672,04	SICRO - 6416143
2.4	CAUQ - Concreto asfáltico - Faixa A. Brita e areia comerciais.	t	1.537,20	112,46	172.873,51	SICRO - 6416080
2.5	Pintura de ligação com emulsão RR-1C	m ²	7.000,00	1,88	13.160,00	SICRO - 4011354
3.0	PAVIMENTO PARA CBR 3% e N = 10⁸				1.224.301,23	
3.1	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	2.450,00	153,08	375.046,00	SICRO - 4011276
3.2	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	2.100,00	153,08	321.468,00	SICRO - 4011276
3.3	CAUQ - Concreto asfáltico - Faixa B. Brita e areia comerciais.	t	1.281,00	116,84	149.672,04	SICRO - 6416143
3.4	CAUQ - Concreto asfáltico - Faixa A. Brita e areia comerciais.	t	1.537,20	112,46	172.873,51	SICRO - 6416080
3.5	CAUQ - Concreto asfáltico - Faixa A. Brita e areia comerciais.	t	1.708,00	112,46	192.081,68	SICRO - 6416080
3.6	Pintura de ligação com emulsão RR-1C	m ²	7.000,00	1,88	13.160,00	SICRO - 4011354
4.0	PAVIMENTO PARA CBR 8% e N = 10⁴				792.782,62	
4.1	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	2.100,00	153,08	321.468,00	SICRO - 4011276
4.2	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	1.400,00	153,08	214.312,00	SICRO - 4011276
4.3	CAUQ - Concreto asfáltico - Faixa B. Brita e areia comerciais.	t	854,00	116,84	99.781,36	SICRO - 6416143
4.4	CAUQ - Concreto asfáltico - Faixa A. Brita e areia comerciais.	t	1.281,00	112,46	144.061,26	SICRO - 6416080
4.5	Pintura de ligação com emulsão RR-1C	m ²	7.000,00	1,88	13.160,00	SICRO - 4011354
5.0	PAVIMENTO PARA CBR 8% e N = 10⁶				792.782,62	
5.1	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	2.100,00	153,08	321.468,00	SICRO - 4011276
5.2	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	1.400,00	153,08	214.312,00	SICRO - 4011276
5.3	CAUQ - Concreto asfáltico - Faixa B. Brita e areia comerciais.	t	854,00	116,84	99.781,36	SICRO - 6416143
5.4	CAUQ - Concreto asfáltico - Faixa A. Brita e areia comerciais.	t	1.281,00	112,46	144.061,26	SICRO - 6416080
5.5	Pintura de ligação com emulsão RR-1C	m ²	7.000,00	1,88	13.160,00	SICRO - 4011354
6.0	PAVIMENTO PARA CBR 8% e N = 10⁸				1.170.723,23	
6.1	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	2.450,00	153,08	375.046,00	SICRO - 4011276
6.2	Base ou Sub-base de brita graduada com brita comercial.	m ³	1.750,00	153,08	267.890,00	SICRO - 4011276
6.3	CAUQ - Concreto asfáltico - Faixa B. Brita e areia comerciais.	t	1.281,00	116,84	149.672,04	SICRO - 6416143
6.4	CAUQ - Concreto asfáltico - Faixa A. Brita e areia comerciais.	t	1.537,20	112,46	172.873,51	SICRO - 6416080
6.5	CAUQ - Concreto asfáltico - Faixa A. Brita e areia comerciais.	t	1.708,00	112,46	192.081,68	SICRO - 6416080
6.7	Pintura de ligação com emulsão RR-1C	m ²	7.000,00	1,88	13.160,00	SICRO - 4011354

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.