

COMPARAÇÃO DE CUSTOS PARCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE VIAS COM PAVIMENTO FLEXÍVEL E PAVIMENTO RÍGIDO EM RODOVIA COM ELEVADO VOLUME DE TRÁFEGO (BR 163)

ADRIELLE SOUZA VIEIRA DA SILVA^{1*}; LINCOLN SALGADO²

¹Discente, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel-PR, adrielle.vieira2016@gmail.com;

²Especialista Engenheiro Civil Lincoln Salgado, Cascavel-PR, salgadozout@gmail.com.

RESUMO: No Brasil, o maior modal utilizado certamente é o rodoviário, e na grande maioria, as estradas são constituídas de pavimentação flexível. Este tipo de pavimentação é feita de Concreto Betuminoso Usinado à Quente, o CBUQ, e sofre muitos danos devido às intempéries climáticas e a ação das cargas provenientes do tráfego, o que acarreta contínuas manutenções. Por outro lado, existe um tipo de pavimentação que possui baixa necessidade de manutenção: a pavimentação rígida. Esta é constituída de concreto de Cimento Portland e tem um período de vida útil maior do que a flexível. Neste trabalho, efetuou-se o dimensionamento de um trecho da rodovia BR-163, para pavimento do tipo flexível e do tipo rígido. Para o dimensionamento do pavimento flexível foi utilizado o Método Empírico do Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes e para o pavimento rígido o Método *Portland Cement Association* de 1984. Após o dimensionamento foi feito o levantamento de materiais e serviços utilizados. Também foi levantado os custos de materiais e serviços, para isso foram aplicados custos parciais a cada estrutura: sub-base, base e revestimento. Constatou-se que para dimensionar esta rodovia em pavimento flexível seria gasto por quilômetro R\$ 1.643.562,59 e para o pavimento rígido R\$ 2.492.676,88. Com este estudo conclui-se que a pavimentação desta rodovia em pavimento rígido custaria 51,66% a mais em relação a pavimentação flexível, porém para que se possa ter um resultado mais detalhado de custos a longo prazo é necessário um estudo mais detalhado sobre drenagem, manutenção e restauração, entre outros serviços que englobam uma obra rodoviária.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimentação. Flexível. Rígido. Dimensionamento. Custos.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o quinto maior país do mundo em extensão territorial, em se tratando de sistemas de transporte é composto por uma longa malha rodoviária. Existem diversas opções para se pavimentar rodovias, segundo Jiménez (2010), o revestimento das vias pode ser feito por pavimentos flexíveis, pavimentos semirrígidos e pavimentos rígidos.

Para Marques (2006), pavimentos flexíveis são pavimentos que não tem estrutura resistente aos esforços de tração e são compostos por elementos betuminosos e granulares. Esse tipo de pavimento é considerado “flexível” por sofrer flexão quando exposto às cargas provenientes do tráfego. Sua composição é dividida em várias camadas para acomodar os esforços exercidos pelo tráfego na estrutura.

O pavimento semirrígido apresenta certo grau de resistência à tração. É um caso de misturas de solo-betume, solo-cal, solo-cimento. Quando uma via é revestida por uma base betuminosa e selada com uma base cimentante é caracterizada como pavimento semirrígido (MEDINA, 1997).

Pavimentos rígidos são compostos por placas de concreto dimensionadas com base nas propriedades do cimento Portland e apoiadas em uma sub-base, trabalham principalmente a tração e tem um histórico de vida útil maior que os demais tipos citados. O uso deste tipo de pavimento nas vias é mais frequente em áreas urbanas e em locais com elevado volume de tráfego (JIMÉNEZ, 2010).

Segundo levantamentos do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), realizados em 2006, o Brasil possui 1,03km de rodovia pavimentada por habitante e 7,35km de rodovia não pavimentada. Pesquisas feitas pela Confederação Nacional de Transportes (CNT), também em 2006, apontaram que 12,3% das vias são pavimentadas, deste total 99% são revestidas com pavimentos flexíveis e apenas 1% foi aplicado pavimentos rígidos.

Para definição de custos das obras rodoviárias, o Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná (DER/PR), órgão responsável pela administração de rodovias estaduais, adota o seu próprio sistema de custos para orçamentação dos serviços. Esse sistema aborda valores tanto dos insumos, quanto dos serviços que compõem o orçamento das obras. Para a formação dos preços, estes levantamentos adotam metodologias que levam em consideração a variação regional e temporal, a distância dos centros de produção, disponibilidade de insumos e as condições econômicas de cada região onde será executada a obra (DER/PR, 2019).

Com essas informações, a justificativa para a realização dessa pesquisa foi o fato da doutrina do sistema rodoviário brasileiro em utilizar pavimentos flexíveis em sua grande maioria, sugere que esse tipo de pavimento tem uma melhor desenvoltura no quesito de custo parcial. Contudo, os pavimentos rígidos, apesar dos custos, podem ter bons comportamentos ou até melhores, e por não ser um pavimento comum é interessante realizar sua análise.

Em razão disso, a questão respondida com a realização desse estudo foi a seguinte: Os pavimentos rígidos realmente superam os pavimentos flexíveis no quesito de custos parciais? Ou os custos parciais do pavimento rígido o tornam economicamente aceitável para a substituição do pavimento flexível?

Este estudo se limitou ao dimensionamento dos pavimentos flexíveis e rígidos utilizando o método empírico do DNIT e o método PCA 1984 e ao levantamento de custos parciais para implantação de vias dos dois tipos de pavimentos. Não foram realizados ensaios em laboratórios.

O objetivo geral desse estudo foi realizar um comparativo entre os tipos de pavimentação mencionados anteriormente.

Salienta-se que o bom êxito deste trabalho científico, se deve aos seguintes objetivos específicos que foram propostos: dimensionar os dois pavimentos em questão, levantar os custos de implantação para cada um deles e por fim verificar se os custos do pavimento rígido o tornam economicamente aceitável para a substituição do pavimento flexível.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PAVIMENTOS

Pavimento é um sistema composto de camadas de espessuras finitas, denominado de superestrutura, apoiadas em um semiespaço teoricamente considerado infinito, exercendo a função de fundação, a qual é denominada subleito (DNIT, 2006.b).

Senço (1997), afirma que pavimento é toda estrutura executada sobre camadas de terraplenagem, destinada tecnicamente e economicamente a resistir e distribuir esforços verticais, provenientes do tráfego e os esforços horizontais, relacionados ao desgaste, garantindo a duração da superfície de rolamento.

Segundo o Manual de Pavimentação 719 do DNIT (2006.b), pavimento por ordem precisa e formal, é o conjunto de camadas compostas de materiais com diferentes resistências e deformidades, que quando colocadas em contato resultam em uma complexibilidade capaz de resistir às cargas impostas pelo tráfego.

O pavimento é composto por camadas, sendo elas o subleito, o reforço do subleito, a sub-base, a base e o revestimento. O subleito é a fundação do pavimento. Já o reforço do subleito, tem a função de complementar à sub-base e suplementar o subleito, entretanto é confundido como parte da fundação. A sub-base tem como objetivo complementar a base na resistência às cargas do tráfego. A base por sua vez é a camada responsável por resistir aos esforços provenientes do tráfego e distribuí-los por toda extensão da estrutura. Por fim temos o revestimento, também chamado capa de rolamento, é a camada que recebe toda a ação direta do tráfego, tem como função melhorar a superfície de rolamento, garantir a segurança, o conforto e resistir ao desgaste (DNIT, 2006.b).

2.1.1 Pavimento Flexível

Pavimentos flexíveis, os mais utilizados no país atualmente, são constituídos basicamente por agregados e ligantes asfálticos. Suas camadas sofrem deformações elásticas quando expostas aos carregamentos do tráfego, resistem e distribuem a carga equivalente entre as camadas. As camadas que compõem o pavimento flexível são: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e o subleito em si (BERNUCCI *et al.*, 2008).

O pavimento tem a função de proporcionar segurança, conforto e ser resistente ao desgaste, pois é a camada que recebe diretamente a ação do tráfego, se possível essa camada precisa ser impermeável. Sua composição contém misturas de agregados com materiais betuminosos (DNIT, 2006.b).

Marques (2006), afirma que este tipo de pavimento pode ser aplicado em vias de baixo volume de tráfego, utilizando TSD ou TST (Tratamentos Superficiais Duplos ou Triplos) e também em vias com elevado volume de tráfego, nesse caso se realiza a aplicação de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado à Quente).

É denominado CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) quando a mistura é realizada em usina adequada, com especificações e propriedades aprovadas pelo DNIT dos seguintes insumos: agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento *filler* e ligante asfáltico (DNIT, 2006.b).

Bernucci (2008), explica que o asfalto no Brasil nomeado CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo), se torna um material líquido, quando submetido a elevadas temperaturas, flexível em condições de temperatura ambiente e semissólido quando exposto a temperaturas baixas.

2.1.2 Pavimento Rígido

Pitta (1998), diz que o pavimento rígido é uma estrutura de concreto, que está exposta às ações mecânicas. Estas ações exigem da estrutura uma elevada resistência à tração e à compressão simples. Esse tipo de pavimento reduz as tensões exercidas na fundação, pois funciona como uma estrutura e redistribui as cargas.

Um revestimento que tem elevada resistência, quando comparado às camadas inferiores é denominado como pavimento rígido, pois assim, absorve praticamente todas as tensões oriundas das cargas do tráfego. O pavimento rígido é composto essencialmente por

concreto, rico em Cimento Portland, areia, agregados graúdos e água, adequadamente adensado em uma camada, que é a camada de base do revestimento (DNIT, 2006.a).

Para Loturco (2005), a durabilidade e a resistência no uso do pavimento rígido é o seu diferencial, pois são projetados para durar por cerca de trinta anos, enquanto os flexíveis são projetados para ter uma vida útil de aproximadamente dez anos. Isso ocorre porque as placas de concreto trabalham como uma ponte sobre o subleito, distribuindo as cargas oriundas do tráfego em uma maior área da fundação. O maior tempo de duração sem necessidade de manutenções ao longo de sua vida útil dissolve seu elevado custo de implantação ao longo do tempo.

2.2 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS

É necessário dimensionar um pavimento para garantir o funcionamento eficaz dos processos como operação, aceleração, frenagem, condições de segurança e conforto da rodovia, levando em consideração a viabilidade técnica, econômica e ambiental do empreendimento. Existem diversos métodos para se dimensionar pavimentos, dentre os métodos existentes serão considerados para as análises a serem realizadas o método de empírico do DNIT e o método de dimensionamento PCA 1984 (DNIT, 2006.b).

2.2.1 Método empírico do DNIT

O método empírico do DNIT dimensiona o pavimento flexível em função dos seguintes fatores (DNIT, 2006.b):

- Capacidade do subleito (CBR) e índice de grupo IG;
- Número equivalente de operações do eixo padrão (N);
- Espessura total do pavimento durante um período de projeto.

Com base no número “N”, determina-se a espessura mínima do revestimento betuminoso, e a partir de então, com base na espessura total, determina-se as espessuras das camadas que irão constituir o pavimento, multiplicando-se as espessuras obtidas para o material pelos coeficientes estruturais parciais correspondentes a cada tipo de material encontrado (DNIT, 2006.b).

2.2.2 Método PCA 1984

Para realizar o dimensionamento de pavimentos de concreto simples será utilizado o método elaborado pela *Portland Cement Association* (PCA), desenvolvido em 1966 e atualizado em 1984. O PCA/84 introduz o desenvolvimento do conhecimento apresentado nas últimas décadas sobre os cálculos de tensões, projeto geométrico, construção e gerência dos pavimentos de concreto (DNIT, 2006.b).

Segundo o Manual de Pavimentação 719 do DNIT (2006.b), o PCA 1984 traz novas ideias para o dimensionamento de pavimentos rígidos e segue basicamente essas etapas:

- Definir parâmetros de dimensionamento;
- Adoção de uma espessura-tentativa;
- Determinar a tensão equivalente para os tipos de eixo;
- Determinação dos fatores de erosão e cálculo dos fatores de fadiga;
- Determinação das repetições admissíveis;
- Determinação da porcentagem de resistência à fadiga e dano por erosão;
- Verificação das espessuras estimadas.

2.3 CUSTOS DA INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA

O referencial de preços de serviços, que é a tabela de custos adotada pelo DER/PR, é geralmente utilizada na composição de custos das obras rodoviárias no estado do Paraná. A composição é feita através de levantamentos que levam em consideração os insumos disponíveis em nossa região, a variação regional e temporal, a distância dos centros de produção, disponibilidade de insumos e as condições econômicas de cada região onde será executada a obra (DER/PR, 2019).

Os custos da infraestrutura rodoviária são todos os custos gerados para a construção, manutenção, restauração, operação de veículos entre outros serviços de rodovias, que quando somados são considerados custos totais. Custos totais englobam todos os gastos gerados desde a implantação de uma rodovia até acompanhamento ao longo da vida útil dos pavimentos, seja de construção, manutenção ou custos operacionais dos veículos (PEDROZO, 2001).

Ainda para Pedrozo (2001), o custo de construção é composto por todos os gastos gerados na implantação de uma rodovia, como os serviços de terraplanagem, drenagem, obras complementares, pavimentação, sinalização, etc. Já o custo de manutenção, conservação e/ou

restauração das rodovias é gerado ao longo da vida útil do pavimento, um valor que cresce à medida que o pavimento começa a deteriorar e precisa ser restituído. Por fim o custo de operação dos veículos é o gasto na utilização de determinada rodovia: aquisição de um veículo; os custos de manutenção; combustível e lubrificantes; vida útil, depreciação do veículo e a taxa de juros. Quando analisados individualmente ou em grupo que descartem algum dos tipos de custos, são denominados como custos parciais, pois não levam em consideração todos os componentes do custo total.

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE ESTUDO E LOCAL DA PESQUISA

Tratou-se de um estudo de caso, onde foram dimensionados os pavimentos e levantados os custos para implantação dos dois tipos de pavimentação rodoviária: a pavimentação flexível e a pavimentação rígida. O estudo foi realizado em trecho de uma rodovia já existente, a BR-163. A rodovia analisada pertence ao governo federal e é administrada pelo DNIT. Com 3.579 quilômetros de extensão, liga os municípios de Tenente Portela no Rio Grande do Sul até Santarém no Pará.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO

A pesquisa foi realizada em um trecho da BR-163, que liga o município de Cascavel/PR até o distrito de Marmelândia, no município de Realeza/PR. O trecho analisado possui 74 quilômetros de extensão, se inicia no Km 123,4 e vai até o Km 197,4 conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Trecho da rodovia analisado



Fonte: Google Earth, (2019).

O trecho analisado possui pista simples executada em pavimento flexível, entretanto está passando por uma obra de duplicação, a nova alça da rodovia está sendo executada em pavimento rígido, a previsão para a conclusão é 2020 (DNIT, 2019).

3.3 ESTUDO DE TRÁFEGO

A rodovia analisada possui um estudo de tráfego realizado pelo Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT), um plano desenvolvido pelo DNIT para identificar o comportamento do tráfego nas rodovias federais. Nesse trabalho utilizou-se a contagem mais atual realizada em 2017 pelo PNCT.

Para o dimensionamento foi utilizado o Volume Médio Diário (VMD) do dia com um dos mais elevados índices do volume de tráfego, considerando assim a pior situação já que se trata de uma abordagem acadêmica. Este estudo foi realizado no Km 181,4 da rodovia, localizado no município de Lindoeste/PR, um ponto médio da extensão analisada. O estudo de tráfego foi utilizado no dimensionamento dos pavimentos e para classificar a rodovia.

Por apresentar um volume de tráfego acima de 1.400 veículos diariamente neste trecho, a rodovia pertence então a CLASSE I – A, ou seja, deve possuir pista dupla com controle parcial de acesso e pode então ser caracterizada como uma rodovia de elevado volume de tráfego, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Classificação técnica de rodovias

CLASSES DE PROJETO		CARACTERÍSTICAS	CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA*
0		Via Expressa Controle total de acesso	Decisão administrativa.
I	A	Pista dupla Controle parcial de acesso	Os volumes de tráfego previstos ocasionarem níveis de serviço em rodovia de pista simples inferiores aos níveis C ou D.
	B	Pista Simples Controle parcial de acesso	Volume horário de projeto (VMH) > 200. Volume Médio Diário (VMD) > 1400.
II		Pista Simples	$700 < \text{VMD} \leq 1400$ veículos.
III		Pista Simples	$300 \leq \text{VMD} \leq 700$ veículos.
IV	A	Pista Simples	$50 \leq \text{VMD} \leq 300$ veículos.
	B	Pista Simples	$\text{VMD} < 50$ veículos.

* Volumes de tráfego bidirecionais, referindo-se a veículos mistos e previstos no 10º ano após a abertura da rodovia ao tráfego.

Fonte: DNIT, (2006.c).

A tabela de classificação técnica de rodovias através dos critérios de classificação baseados no volume de tráfego da rodovia permite definir algumas características das rodovias pertencentes à determinada classe, como a quantidade de pistas por exemplo.

3.4 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

Foram elaborados dois projetos estruturais de pavimentos, um para pavimentos flexíveis, outro para pavimentos rígidos. Para o dimensionamento do pavimento flexível foi utilizado o método empírico do DNIT, baseado no método CBR. Já o dimensionamento do pavimento rígido utilizou-se o método *Portland Cement Association* (PCA 1984). No dimensionamento dos dois tipos de pavimentos adotou-se um período de vida útil de 10 anos, para ter igualdade entre as condições das estruturas.

Para o dimensionamento do pavimento flexível pelo método empírico do DNIT é necessário uso do estudo de tráfego e na sequência realizar os seguintes passos:

1) Capacidade de suporte do subleito (Ensaio do CBR):

O valor do CBR foi definido a partir de um ensaio realizado em um ponto médio da rodovia, adotou-se então um valor médio entre os menores valores contingentes neste ensaio (Anexo A).

2) Número equivalente de operações do eixo padrão (N):

Para o cálculo do número “N”, que corresponde ao número de repetições do eixo padrão, adotou-se os valores da contagem de tráfego do PNCT (Plano Nacional de Contagem de Tráfego), juntamente com o método do fator veicular. O número “N” é obtido pela Equação 1.

$$N=365 * VDM * P * FV * FR \quad (1)$$

Onde:

N - número de repetições do eixo padrão;

VMD - volume médio diário;

P - período do projeto (anos);

FV - fator de veículo;

FR - fator regional ou climático.

O fator veicular (FV) é calculado a partir da pesagem de eixo simples e tandem, por categoria de veículo e sua frequência. Para o cálculo do FV, os valores dos pesos de cada eixo devem ser convertidos com um ábaco (Anexo B), em valores de eixo equivalente.

3) Espessura total do pavimento durante um período de projeto.

As espessuras das camadas dependem de coeficientes de equivalência estrutural, que por sua vez dependem do tipo de material utilizado no pavimento. Utilizam-se as Equações 2, 3 e 4 e os coeficientes do Anexo C:

$$K_r * R + K_b * B > H_{20} \quad (2)$$

$$K_r * R + K_b * B + K_s * H_{20} > H_N \quad (3)$$

$$K_r * R + K_b * B + K_s * H_{20} + K_{ref} * H_N > H_M \quad (4)$$

Onde:

K_r - Coeficiente de valência estrutural do revestimento;

R - Espessura do revestimento;

K_b - Coeficiente de valência estrutural da base;

B - Espessura da base;

K_s - Coeficiente de valência estrutural da sub-base;

H_{20} - Espessura da sub-base;

K_{ref} - Coeficiente de valência estrutural do reforço do subleito;

H_N - Espessura do subleito;

H_M - Espessura total da estrutura.

Assim como no método empírico do DNIT, o dimensionamento do método PCA 1984 também fez uso do estudo de tráfego e na sequência os procedimentos listados a seguir:

1) Parâmetros de dimensionamento:

- Tipo de acostamento, adoção ou não das barras de transferência;
- Resistência à tração após vinte e oito dias;
- Coeficiente de recalque: O coeficiente é encontrado com o uso de um ábaco em função do CBR do subleito, utilizando o ábaco do Anexo D;
- Fatores de segurança: Existem fatores de segurança para o dimensionamento da espessura das placas de concreto. São apresentados no Anexo E;

- Tráfego esperado durante a vida útil do pavimento: Deve-se calcular o número de vezes que cada classe de carga irá atuar no pavimento durante o período previsto de projeto, neste caso, dez anos.

2) Adoção de uma espessura tentativa para o pavimento:

Deve-se adotar uma espessura tentativa para a placa de concreto para a determinação da tensão equivalente e do fator de erosão.

3) Determinação das tensões equivalentes:

- Coeficiente de recalque (K): Com a adoção de uma espessura de camada de base encontra-se um novo valor para o coeficiente de recalque, utiliza-se o ábaco do Anexo F para encontrarmos o novo coeficiente K;
- Tensão equivalente: Com a espessura e o coeficiente K, encontra-se a tensão equivalente com o uso das tabelas do Anexo G e H.

4) Cálculo do fator de fadiga:

O fator de fadiga é definido pela Equação 5:

$$\text{Fator de Fadiga} = \frac{\text{Tensão equivalente}}{F_{ck \text{ do concreto}}} \quad (5)$$

5) Determinação do fator de erosão:

Com a espessura e o coeficiente K, pode-se encontrar o fator de erosão com o uso das tabelas do Anexo I e J.

6) Determinação das repetições admissíveis:

Com o valor de fadiga e a carga por eixo, encontra-se o número de repetições admissíveis para cada tipo de eixo utilizando o ábaco do Anexo K.

7) Número de repetições admissíveis, por análise de erosão:

Com o valor da erosão e a carga por eixo, utilizando o ábaco do Anexo L, encontra-se o número de repetições admissíveis.

8) Somatório dos danos por erosão e por fadiga:

De posse de todos estes dados, é possível calcular se a estrutura do pavimento irá suportar todos os esforços exigidos. Para que o pavimento suporte os esforços solicitados, este deve atender a alguns requisitos: Devem-se dividir as solicitações totais de cada tipo de eixo pelo número de repetições admissíveis, tanto para o fator de erosão quanto para o fator de fadiga, e a soma de todos os tipos de eixo não deve passar de 100%.

3.5 LEVANTAMENTO DE CUSTOS PARCIAIS

Para cada um dos pavimentos foram quantificados os serviços e materiais que serão empregados em sua execução. Na sequência elaboraram-se orçamentos considerando esse quantitativo, auxiliado por manuais, normas e composição de custos unitários de órgãos públicos do setor rodoviário.

Desconsiderou-se o custo referente à terraplanagem, tendo em vista que a terraplanagem que se propõe para um tipo de estrutura é a mesma que proposta para a outra, por isso temos custos parciais e não totais. Portanto, o objetivo foi saber quanto custa uma base rígida e uma base flexível e não custos como desmatamento, desapropriação e drenagem, levantando apenas quanto custa à implantação do pavimento.

Os custos para a implantação foram baseados nos valores que constam nos levantamentos do DER, as tabelas de custos unitários estão disponíveis no site do DER/PR. A composição de custos utilizada foi a de março de 2019, que é também a composição mais atual. Apesar de a rodovia ser administrada pelo DNIT que possui seu próprio sistema de composições de custos, utilizaram-se as composições de custos unitários do DER/PR, pois os valores apresentados remetem a realidade dos valores dos insumos e mão de obra para a região onde se localiza o trecho analisado.

Para a execução do pavimento rígido serão necessários os seguintes serviços:

- Compactação e regularização da sub-base (macadame);
- Compactação e regularização da base (brita graduada);
- Imprimação e pintura de ligação;
- Pavimentação da camada de ligação – Binder;
- Pavimentação da capa de rolamento.

Para o pavimento rígido, os serviços necessários serão:

- Compactação e regularização de base (brita graduada);

- Imprimação e pintura de ligação;
- Pavimentação da pista de rolamento em concreto.

3.6 ANÁLISE DOS DADOS

A partir destes projetos estruturais já orçados, efetuou-se uma comparação dos valores encontrados, levantando os custos para uma mesma extensão e duração de ambos os tipos. A utilização de custos parciais se deu pela análise dos custos de implantação destas vias. E então foi possível identificar em razão dos custos parciais se o pavimento rígido é economicamente aceitável para a substituição do pavimento flexível.

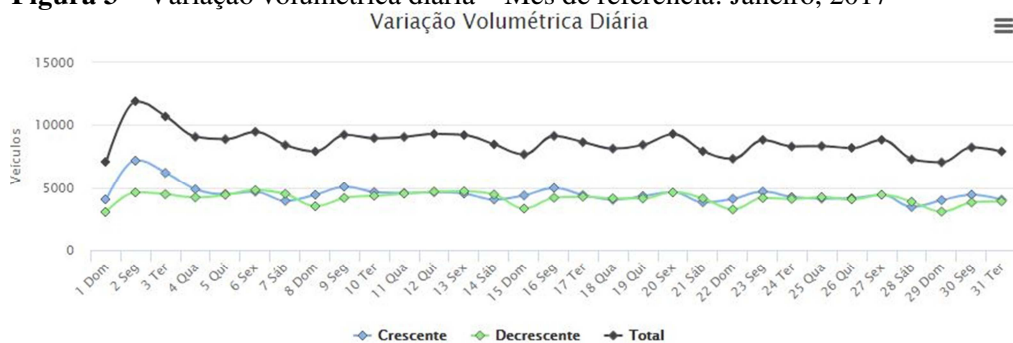
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados são de exclusiva aplicação à rodovia BR-163, uma rodovia de Classe I-A. Os dados não se destinam a outras rodovias.

4.1 ESTUDO DE TRÁFEGO

Como o dimensionamento foi efetuado para uma abordagem didática e os resultados não serão utilizados efetivamente para práticas reais, escolheu-se o mês de Janeiro em 2017, como referência, pois Janeiro está dentro de um período de safra e entende-se que neste período tem-se um maior número de veículos transitando. Por se tratar de uma abordagem acadêmica levou-se em consideração a pior situação. No caso deste mês a pior situação ocorreu no dia 2, conforme Figura 3, desta forma a contagem realizada neste dia será considerada nos cálculos.

Figura 3 – Variação volumétrica diária – Mês de referência: Janeiro, 2017



Fonte: PNCT, (2017).

A contagem de tráfego realizada pelo PNCT será utilizada no cálculo do número “N”.

4.2 DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS

4.2.1 Dimensionamento do pavimento flexível

1) Capacidade de suporte do subleito (Ensaio do CBR):

Com o ensaio apresentado no (Anexo A), temos que o valor médio do CBR do subleito é de 9,7%.

2) Número equivalente de operações do eixo padrão (N):

Após encontrar as equivalências de carga, montou-se uma tabela com o tipo de veículo, tipos de eixos e quantidade de veículos. Com isso obteve-se um fator veicular de 14,89, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Fator veicular

TIPO DE VEÍCULO	FATOR DE EQUIVALÊNCIA DE OPERAÇÃO				CONTAGEM	VALOR PERCENTUAL	FATOR DE VEÍCULO
	ESRS	ESRD	ETD	ETT			
UCP							
ESRS + ESRD	0,25	3,00	0,00	0,00	409	13,13%	0,43
ESRS + ETD	0,25	0,00	8,50	0,00	670	21,52%	1,88
ESRS + ETT	0,25	0,00	0,00	9,00	448	14,39%	1,33
ESRS + ESRD + ETT	0,25	3,00	0,00	9,00	210	6,74%	0,83
ESRS + ESRD + 2ETD	0,25	3,00	17,00	0,00	705	22,64%	4,58
ESRS + 3ETD	0,25	0,00	25,50	0,00	566	18,18%	4,68
ESRS + 2ETD + ETT	0,25	0,00	17,00	9,00	1	0,03%	0,01
ESRS + 4ETD	0,25	0,00	34,00	0,00	105	3,37%	1,15
TOTAIS					3114,00		14,89

Fonte: Autor, (2019).

Para determinação do fator regional, foi preciso descobrir o índice pluviométrico da região. O índice pluviométrico anual do trecho analisado é de 1965,7mm (Figura 5). Para isso levou-se em conta a pluviometria dos últimos 10 anos, 2009 à 2019 (INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ, 2019).

Figura 5 – Índice pluviométrico

Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
AGUASPARANÁ - Instituto das Águas do Paraná
Sistema de Informações Hidrológicas - SIH



Alturas de precipitação - Resumo Anual (mm)

Estação:	CASCADEL - OCEPAR	Código:	02453023	Entidade:	IAPAR
Município:	Cascavel	Instalação:	01/08/1972	Extinção:	
Tipo:	PPrC	Bacia:	Iguaçu	Sub-bacia:	7
Altitude:	760,000 m	Latitude:	24° 55' 59"	Longitude:	53° 25' 59"
ANO	Total anual	Máxima diária	Data da ocorrência	Dias de chuva	
2009	1965,7 *	-	-	-	
2010	-	-	-	-	

Fonte: Instituto das Águas do Paraná, (2019).

Sabendo que a precipitação anual é de 1965,7mm é possível definir o fator regional para a rodovia analisada, que é igual a 1,8, utilizando os dados apresentados na Figura 6. O fator regional é utilizado para considerar a umidade que os materiais constituintes do pavimento estão sujeitos a sofrer durante sua vida útil.

Figura 6 – Fator regional

Índice Pluviométrico Anual (mm)	Fator Climático Regional (FR)
Até 800	0,7
De 800 a 1.500	1,4
Mais que 1.500	1,8

Fonte: Cálculo do número “N” - USACE, (2013).

Com todos os itens encontrados, pode-se calcular o número “N”:

$$N = 365 * VDM * P * FV * FR$$

$$N = 365 * 3114 * 10 * 14,89 * 1,8$$

$$N = 3,05E+08$$

3) Espessura total do pavimento durante um período de projeto.

Para o dimensionamento do pavimento flexível foi utilizada uma planilha de cálculo. A planilha de dimensionamento encontra-se nos APÊNDICES A, B e C.

Na Figura 7 é possível observar as espessuras de cada camada de pavimento calculada e as espessuras adotadas:

Figura 7 – Espessuras do pavimento flexível

	Calculado	Adotado
Revestimento (R) = -----		12 cm
Base (B) = 15,8 cm		14 cm
Sub-base (h_{20}) = 7,06 cm		14 cm
Reforço (h_{Ref}) = -0,8 cm		0 cm

Fonte: Autor, (2019).

Para a determinação das espessuras das camadas, adota-se inicialmente uma espessura tentativa para o revestimento, neste caso adotou-se 12cm. A partir desta espessura, utilizando as inequações a planilha calculou a espessura mínima para as demais camadas e foram ajustadas as espessuras adotadas até zerar a camada de reforço da coluna calculado.

4.2.2 Dimensionamento do pavimento rígido

1) Parâmetros de dimensionamento:

- Com acostamento;
- Com barra de transferência;
- Resistência do concreto aos vinte e oito dias deverá ser de 20 MPa;
- Coeficiente de recalque: O coeficiente é encontrado com o uso de um ábaco para um CBR de 9,7% é de 54 MPa/M;
- O fator de segurança utilizado é 1,5 para pavimentos que necessitem de um desempenho acima do normal;
- Solicitações por eixo de veículos esperadas durante a vida útil do pavimento, no caso dez anos está apresentada na Figura 8.

Figura 8 – Solicitações totais por eixo

TOTAL POR EIXO		
ESRS	Eixo Simples Roda Simples	11.366.100
ESRD	Eixo Simples Roda Dupla	4.832.600
ETD	Eixo Tandem Roda Dupla	7.471.550
ETT	Eixo Tandem Roda Tripla	2.405.350

Fonte: Autor, (2019).

2) Adoção de uma espessura tentativa para a placa de concreto:

Adotou-se uma espessura inicial de 20 cm.

3) Determinação das tensões equivalentes:

- Coeficiente de recalque (K): Com a adoção da espessura de 25 cm da camada de base encontrou-se no ábaco do Anexo F um coeficiente K de 77 MPa/m.
- Utilizando os Anexos G e H, encontram-se os seguintes valores para ES, ETD e ETT de tensão equivalente:
ES: 1,35
ETD: 1,14
ETT: 0,88

4) Calculando o fator de fadiga, encontram-se os seguintes valores, para F_{ck} de 20 MPa:

ES: 0,0675
ETD: 0,057
ETT: 0,044

5) Utilizando o coeficiente K, nos Anexos I e J encontram-se os seguintes fatores de erosão:

ES: 2,59
ETD: 2,66
ETT: 2,67

6) O número de repetições, utilizando a tabela do Anexo K foi:

ES: Ilimitado
ETD: Ilimitado
ETT: Ilimitado

7) O número de repetições encontradas no Anexo L foi de:

ES: Ilimitado
ESD: 12.000.000
ETD: 25.000.000
ETT: 9.000.000

8) Somatório dos danos por erosão e por fadiga:

Na Figura 9 é possível observar as espessuras e os parâmetros adotados para o pavimento rígido. Na Figura 10 observa-se que o somatório do consumo da fadiga e erosão inferior a 100%, ou seja, a espessura adotada para a placa de concreto está aprovada.

Figura 9 – Espessuras e parâmetros do pavimento rígido

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO RÍGIDO			
PCA 1984			
Espessura da placa de concreto:	20 cm	Material usado na base:	BGS
CBR do Subleito:	9,70%	Espessura da base:	25 cm
K do subleito:	54 MPa/m	Acostamento:	Sim
Aumento do K devido a base granular:	77 MPa/m	Barras de transferência:	Sim
Resistência do concreto:	20 MPa	Fator de segurança:	1,5

Fonte: Autor, (2019).

Figura 10 – Somatório do consumo da fadiga e erosão

TOTAL (Fadiga):	0,00%	TOTAL (Erosão):	96,88%
TOTAL (%): 96,88%			
TOTAL:	96,88%	<	100,00%
APROVADO!			

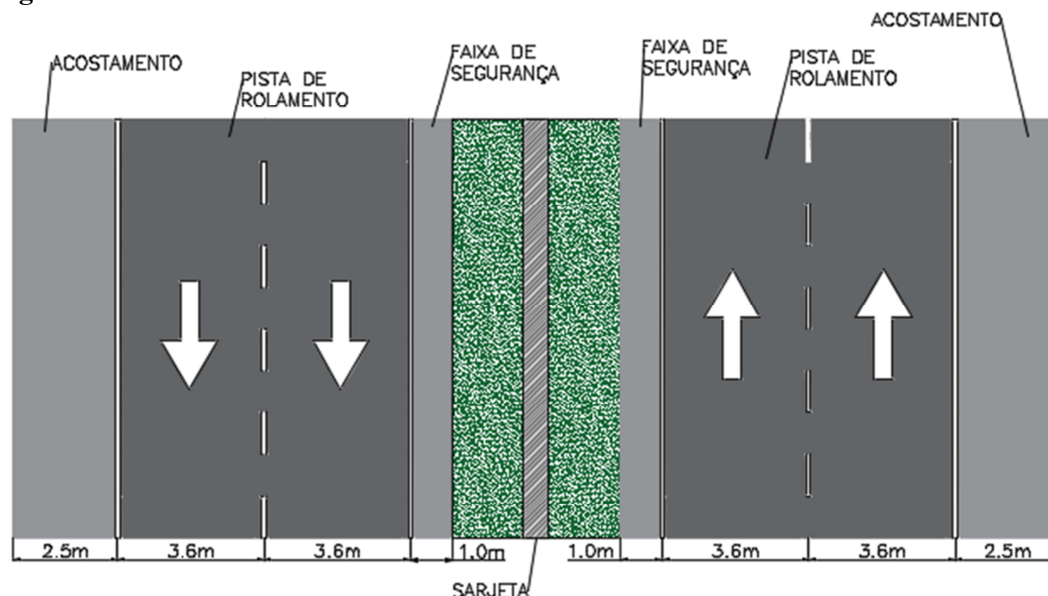
Fonte: Autor, (2019).

Os cálculos efetuados para determinação das espessuras do pavimento rígido estão apresentados no Apêndice D.

Não foram adotadas outras espessuras para a placa de concreto e base, já que o dimensionamento inicial foi aprovado. Uma sugestão para trabalhos futuros é a análise de outras espessuras tentativas para as camadas.

4.3 ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS

A rodovia pertence a CLASSE I – A, ou seja, deve possuir pista dupla com controle parcial de acesso. As larguras da pista de rolamento, acostamento e faixas de segurança de cada uma das pistas foram definidas pelas normativas do Manual de Pavimentação do DNIT. Na Figura 11 observa-se a representação em planta da rodovia dimensionada.

Figura 11 – Planta baixa da rodovia

Fonte: Autor, (2019).

A sub-base do pavimento flexível será construída de macadame hidráulico com 14 cm de espessura.

O macadame hidráulico é constituído de agregado graúdo e agregado miúdo, que serve para travamento do graúdo. O agregado graúdo utilizado será a pedra rachão e o miúdo de brita graduada simples, materiais de fácil fornecimento na região da construção da rodovia.

A base será construída de 14 cm de BGS (Brita Graduada Simples). A BGS é a mistura de diferentes faixas granulométricas de produtos oriundos da britagem de rocha e resulta em um produto com excelente solidez.

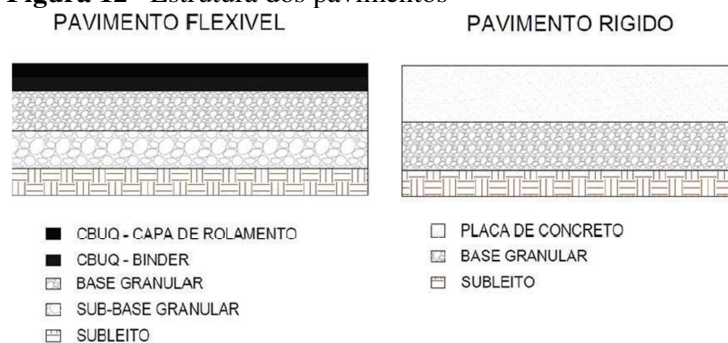
O revestimento será constituído de duas camadas: o binder, que é uma camada de ligação, tem melhor desempenho estrutural por ser constituído de material com graduação mais aberta, porém não dá boas condições para rolamento. Esta possuirá 6 cm de espessura. A capa, por outro lado, possui funções estruturais inferiores à do binder, mas tem um melhor desempenho para rolamento. Essa camada, assim como binder, possuirá 6 cm de espessura. Para o pavimento flexível na imprimação da base, será utilizado asfalto diluído CM-30, e para a pintura de ligação, emulsão RR-1C, para a ligação da base com o binder e do binder com a capa.

A estrutura do pavimento rígido teve a seguinte distribuição: 25 cm de brita graduada simples, usada como base, e 20 cm de concreto simples. Este tipo de pavimento não dispõe de nenhum tipo de aço. No pavimento rígido, na imprimação da base será utilizado asfalto

diluído CM-30 e para a pintura de ligação emulsão RR-1C, para a ligação da base com a placa de concreto.

Na Figura 12 é possível observar a distribuição dos dois tipos de pavimentos.

Figura 12– Estrutura dos pavimentos



Fonte: Autor, (2019).

4.4 CUSTOS PARA A IMPLANTAÇÃO

Para definição dos custos elaborou-se um quantitativo dos materiais que compõem a estrutura dos pavimentos. O teor de CAP que deve ser adicionado à mistura do CBUQ da capa é determinada entre as faixas C, D e E. Já o teor de CAP no CBUQ utilizado para o binder é determinado pelas faixas A e B, conforme Figura 13.

Figura 13 – Composição da mistura

Peneira de malha quadrada		Percentagem passando, em peso					
ABNT	Abertura, mm	Faixa A	Faixa B	Faixa C	Faixa D	Faixa E	Faixa F
1 ½"	38,1	100	100	–	–	–	–
1"	25,4	95 – 100	90 – 100	100	–	–	–
¾"	19,1	80 – 100	–	90 – 100	100	100	–
½"	12,7	–	56 – 80	–	80 – 100	90 – 100	–
⅜"	9,5	45 – 80	–	56 – 80	70 – 90	75 – 90	100
n.º 4	4,8	28 – 60	29 – 59	35 – 65	50 – 70	45 – 65	75 – 100
n.º 10	2,00	20 – 45	18 – 42	22 – 46	33 – 48	25 – 35	50 – 90
n.º 40	0,42	10 – 32	8 – 22	8 – 24	15 – 25	8 – 17	20 – 50
n.º 80	0,18	8 – 20	–	–	8 – 17	5 – 13	7 – 28
n.º 200	0,075	3 – 8	1 – 7	2 – 8	4 – 10	2 – 10	3 – 10
Utilização como		Ligação		Rolamento		Reperfilagem	
Variação do teor de ligante		4,0 – 5,5		4,5 – 6,0		5,0 – 6,5	
Espessura máx., cm		6,0		5,0		3,0	

Fonte: ES-P 21/17, DER/PR, (2017).

Para o levantamento de custos deste estudo de caso, utilizou-se o percentual de 5,5% de CAP na mistura do binder e 6,0% de CAP para a mistura do CBUQ da capa de rolamento.

Os percentuais adotados correspondem ao valor máximo de teor de ligante que compõem a mistura do ligante da cada faixa.

Com todas as dimensões dos pavimentos foi possível montar um quantitativo dos materiais a serem utilizados na implantação dos pavimentos. O levantamento de custos e quantitativo foi calculado para cada um quilômetro de pavimentação. Esse quantitativo pode ser observado nas Figuras 14 e 15.

Figura 14 – Quantitativo Pavimento Flexível

Pavimento Flexível		
Dimensões	Qtde.	Unid.
Extensão	1000,0 m	
Pista Lado Direito (3,60m + 3,60m)	7,2 m	
Pista Lado Esquerdo (3,60m + 3,60m)	7,2 m	
Acostamento LD	2,5 m	
Acostamento LE	2,5 m	
Faixa de Segurança LD	1,0 m	
Faixa de Segurança LE	1,0 m	
Espessura da Sub-base	0,1 m	
Espessura da Base	0,1 m	
Espessura CBUQ-Binder	0,1 m	
Espessura CBUQ - Capa	0,1 m	
Volume	Qtde.	Unid.
CBUQ - Binder	1284,0 t	
CBUQ - Capa	1284,0 t	
Consumo de Material	Qtde.	Unid.
Sub-base (Macadame)	2996,0 m ³	
Base (Brita graduada)	2996,0 m ³	
Emulsão RR-1C (Pintura de ligação)	21400,0 m ²	
Asfalto diluído CM-30 (Imprimação)	21400,0 m ²	
CBUQ - Binder	70,6 t	
CBUQ - Capa	77,0 t	

Fonte: Autor, (2019).

Figura 15 – Quantitativo Pavimento Rígido

Pavimento Rígido		
Dimensões	Qtde.	Unid.
Extensão	1000,0 m	
Pista Lado Direito (3,60m + 3,60m)	7,2 m	
Pista Lado Esquerdo (3,60m + 3,60m)	7,2 m	
Acostamento LD	2,5 m	
Acostamento LE	2,5 m	
Faixa de Segurança LD	1,0 m	
Faixa de Segurança LE	1,0 m	
Espessura da Base	0,3 m	
Espessura Placa de concreto	0,2 m	
Consumo de Material	Qtde.	Unid.
Base (Brita graduada)	5350,0 m ³	
Emulsão RR-1C (Pintura de ligação)	21400,0 m ²	
Asfalto diluído CM-30 (Imprimação)	21400,0 m ²	
Concreto	4280,0 m ³	

Fonte: Autor, (2019).

A partir destes quantitativos e utilizando as composições de custos unitários disponibilizadas pelo DER/PR em março de 2019, foi possível realizar o levantamento de custos parciais para a implantação de pavimentos flexíveis e rígidos. A composição dos custos pode ser observada nas Figuras 16 e 17.

Figura 16 – Pavimento Flexível

PAVIMENTO FLEXÍVEL					
Pista de rolamento					
Código	Descrição do Serviço	Unid.	Qtde. por KM	Preço Unitário	Total
531320	Sub-base (Macadame)	m ³	2996	R\$ 110,56	R\$ 331.237,76
531130	Base (Brita graduada)	m ³	2996	R\$ 121,62	R\$ 364.373,52
560400	Imprimação	m ²	21400	R\$ 0,29	R\$ 6.206,00
561120	Pintura de ligação	m ²	21400	R\$ 0,28	R\$ 5.992,00
570210	CBUQ - Binder	t	1284	R\$ 103,62	R\$ 133.048,08
570130	CBUQ - Capa	t	1284	R\$ 95,25	R\$ 122.301,00
Aquisição do material betuminoso					
Código	Descrição do Serviço	Unid.	Qtde. por KM	Preço Unitário	Total
589000	CAP 50/70	t	147,66	R\$ 3.474,98	R\$ 513.115,55
589420	Emulsão RR-1C (Pintura de ligação)	t	8,56	R\$ 2.422,82	R\$ 20.739,34
589100	Asfalto diluído CM-30 (Imprimação)	t	25,68	R\$ 5.706,75	R\$ 146.549,34
TOTAL					R\$ 1.643.562,59

Fonte: Autor, (2019).

Figura 17 – Pavimento Rígido

PAVIMENTO RÍGIDO					
Pista de rolamento					
Código	Descrição do Serviço	Unid.	Qtde. por KM	Preço Unitário	Total
531130	Base (Brita graduada)	m ³	5350	R\$ 121,62	R\$ 650.667,00
560400	Imprimação	m ²	21400	R\$ 0,29	R\$ 6.206,00
561120	Pintura de ligação	m ²	21400	R\$ 0,28	R\$ 5.992,00
742500	Concreto de cimento portland AC/BC	m ³	4280	R\$ 388,44	R\$ 1.662.523,20
Aquisição do material betuminoso					
Código	Descrição do Serviço	Unid.	Qtde. por KM	Preço Unitário	Total
589420	Emulsão RR-1C (Pintura de ligação)	t	8,56	R\$ 2.422,82	R\$ 20.739,34
589100	Asfalto diluído CM-30 (Imprimação)	t	25,68	R\$ 5.706,75	R\$ 146.549,34
TOTAL					R\$ 2.492.676,88

Fonte: Autor, (2019).

Na Figura 18 observa-se o valor total para pavimentar cada quilômetro de extensão para cada tipo de pavimento proposto neste trabalho.

Figura 18 – Custo da implantação

PAVIMENTO	CUSTO PARA IMPLANTAÇÃO
Pavimento flexível	R\$ 1.643.562,59
Pavimento rígido	R\$ 2.492.676,88

Fonte: Autor, (2019).

Os resultados obtidos através dos métodos utilizados mostram que a implantação do pavimento rígido custa R\$ 2.492.676,88 e do pavimento flexível custa R\$ 1.643.562,59. Com esses valores conclui-se que o pavimento rígido é 51,66% mais caro que o pavimento flexível em razão do seu custo parcial de implantação.

É possível notar que os custos para execução da base e sub-base e revestimento do pavimento flexível são similares. O rígido, por outro lado, possui um custo mais elevado no revestimento de concreto que em sua base.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pavimentação é o que garante aos motoristas melhores condições de tráfego. Porém pode-se notar que no Brasil, a grande maioria das rodovias encontra-se em péssimas condições. Por isso, no setor de infraestrutura, sempre se deve garantir boas condições de tráfego, reduzindo os custos para implantação e manutenção, mas sem perder a qualidade.

Devido ao elevado volume de tráfego que passa por essa rodovia, mesmo com esse diferencial de valores nesta análise de custos parciais, a pavimentação rígida não pode ser considerada inviável, pois levando em consideração os custos totais como terraplanagem, drenagem, sinalização, manutenções, entre outros, o pavimento rígido poderia então suprir o pavimento flexível em razão destes serviços. Como neste artigo foram analisados apenas os custos parciais de implantação, o pavimento rígido acarretou em um custo mais elevado, entretanto não se pode afirmar sua viabilidade sem um estudo completo da execução.

Uma das hipóteses que pode ser levantada para a pouca utilização do pavimento rígido é que o país tem uma doutrina em se utilizar pavimento flexível e devido a essa doutrina, o pavimento rígido se torna uma opção pouco vista nas rodovias brasileiras.

No Brasil não é costumeiro a utilização do pavimento rígido. A falta de equipamentos e mão de obra qualificada contribui para a utilização do pavimento flexível em larga escala.

Outro fator que influencia essa doutrina em se utilizar pavimento flexível, é seu custo reduzido em relação ao pavimento rígido. Mesmo que à longo prazo a pavimentação rígida tenha um custo/benefício, o alto investimento inicial para sua implantação acaba tornando-o oneroso. Entretanto, a pavimentação rígida exige um número reduzido de manutenções e remete uma maior durabilidade em relação ao pavimento flexível.

O método de dimensionamento do pavimento flexível por ser empírico e ser quase que totalmente fundamentado em observações, também pode refletir um subdimensionamento ou superdimensionamento deste pavimento, o que pode interferir nos resultados obtidos.

Nestas diferenças de custos parciais, mesmo dimensionados para as mesmas condições de tráfego e mesmo tempo de vida útil, se levado em consideração os custos totais e sua utilização, a diferença de custos totais entre eles poderia não ser tão expressiva quando foi nos custos parciais.

Contudo, para que se possa ter um resultado mais preciso, deve-se efetuar um estudo de implantação de drenagem, manutenção e conservação da rodovia. Tendo em vista que uma rodovia com pavimento rígido tem uma manutenção inferior a rodovias com pavimento flexível.

REFERÊNCIAS

ANUT. Associação Nacional dos Usuários do Transporte de Carga. **Transporte rodoviário**. Disponível em: <<http://anut.org/wp-content/uploads/2017/10/Pavimentos.pdf>> Acesso em: 01 Mar. 2019.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro, Brasil, 2008.

Confederação Nacional do Transporte, CNT. **Brasil tem apenas 12,3% da malha rodoviária com pavimento**. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Imprensa/noticia/brasil-tem-apenas-12-da-malha-rodoviaria-com-pavimento>> Acesso em: 01 Mar. 2019.

Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná, DER/PR. **ES- P: 21/17- Pavimentação: Concreto Asfáltico Usinado à Quente, 2017**.

Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná, DER/PR.. **Referencial de preços e serviços**. Disponível em: <<http://www.der.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=98>> Acesso em 26 Ago. 2019.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, DNIT, Manual 714 – **Manual de Pavimentos Rígidos**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2006.a.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, DNIT, Manual 719 – **Manual de Pavimentação**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2006.b.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, DNIT, Manual 723 – **Manual de Estudos de Tráfego**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2006.c.

Google. **Google Earth**. Disponível em: <<http://earth.google.com>> Acesso em: 20 Mar. 2019.

Instituto das Águas do Paraná. Sistema de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/gerarRelatorioAlturasAnuaisPrecipitacao.do?action=carregarInterfaceInicial>> Acesso em: 26 Ago. 2019.

Instituto Nacional de Pesquisa Econômica Aplicada, IPEA. **Transporte Rodoviário**. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/presenca/index.php?option=com_content&view=article&id=26&Itemid=19> Acesso em: 06 Mar. 2019.

JIMÉNEZ, F. E. P. **Manual de pavimentação CEPSA**, Lisboa, 2010.

LOTURCO, B. **Techne: Pavimentos rígidos**. Disponível em <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/102/artigo286026-1.aspx>> Acesso em: 08 Mar. 2019.

MARQUES, G. L. O. **Pavimentação TRN 032, 2006**. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2009/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf>> Acesso em: 08 Mar. 2019.

MEDINA, J. **Mecânica dos pavimentos**, 3ª ed, 1997.

PEDROZO, L. G. **Custos da Infraestrutura rodoviária**, Porto Alegre, 2001.

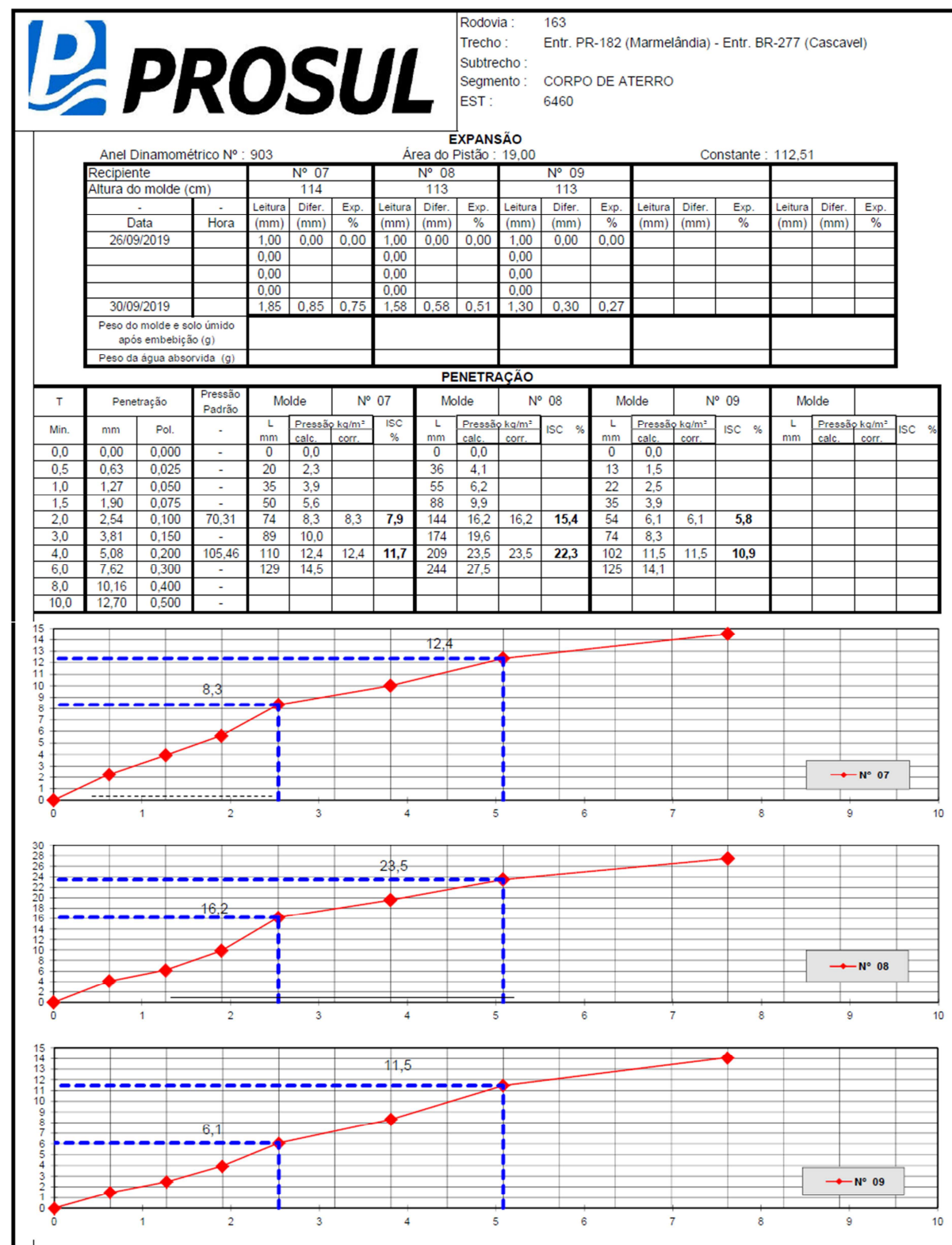
PITTA, M. R. **Dimensionamento dos pavimentos rodoviários de concreto**. Associação Brasileira de Cimento Portland, São Paulo, 1998.

PNCT. Plano Nacional de Contagem de Tráfego. **Contagem Contínua**. Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/ContagemContinua>> Acesso em: 20 Mar. 2019.

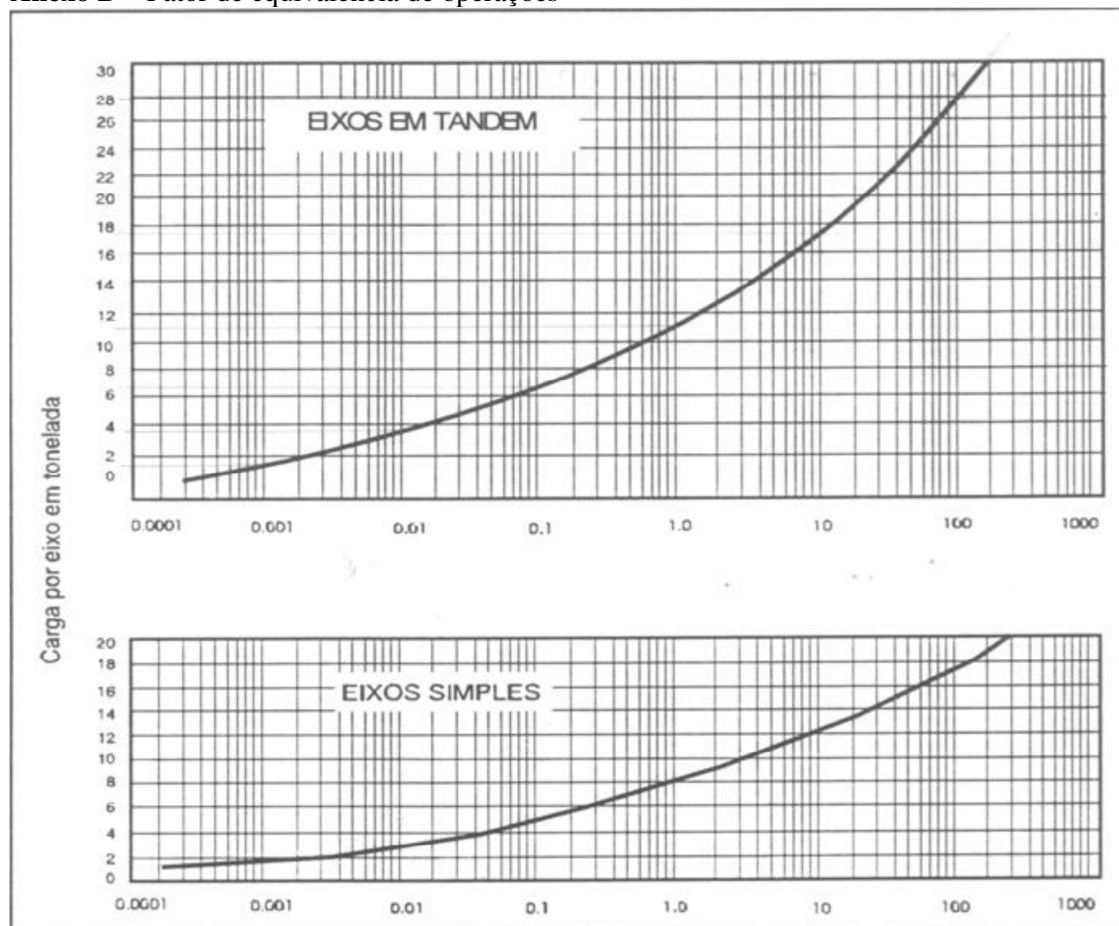
SENÇO, W. **Manual de Técnicas de pavimentação, Volume 1**, São Paulo, Brasil, 1997.

ANEXOS

Anexo A – Ensaio do CBR



Fonte: Prosul, (2019).

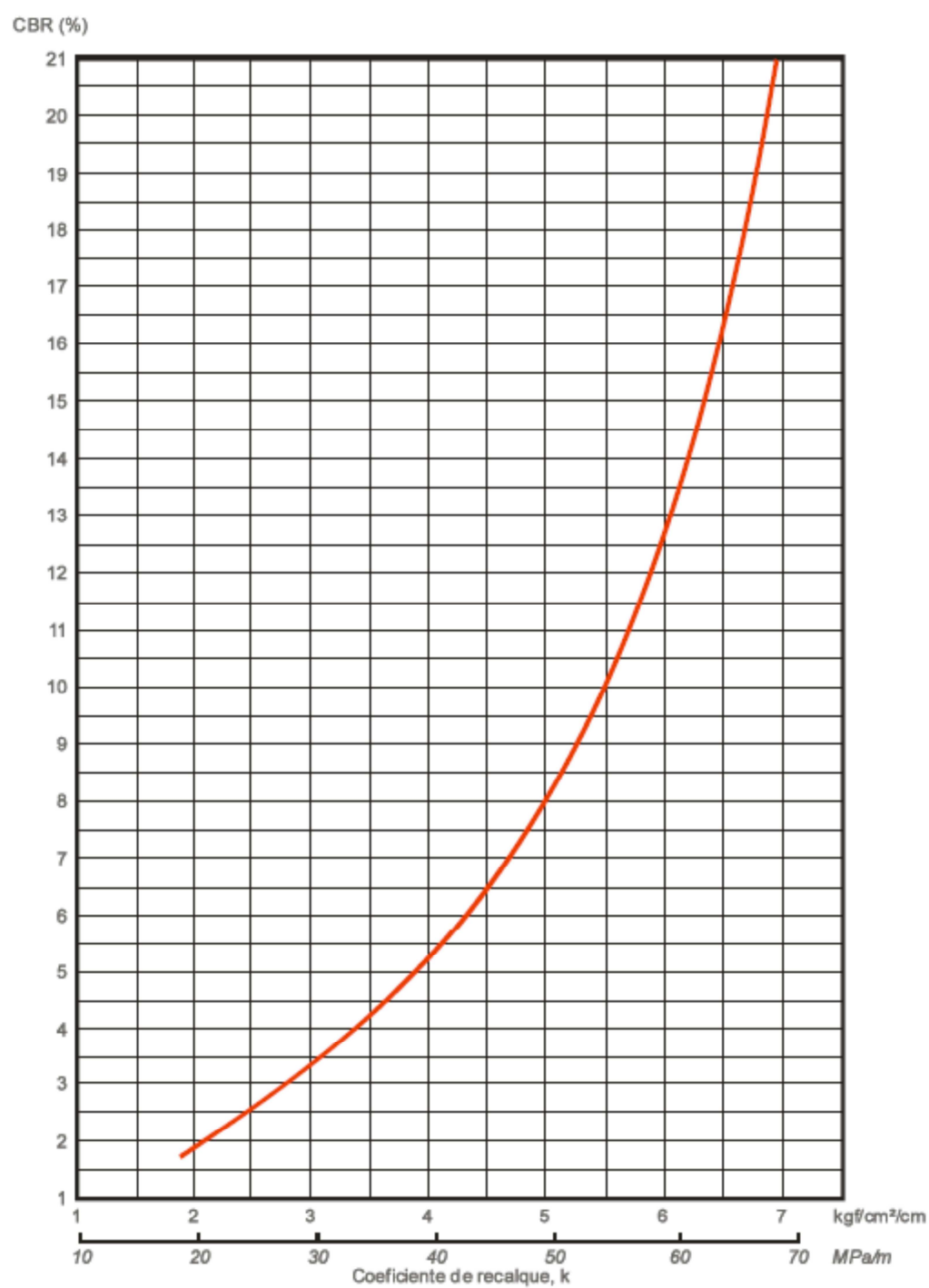
Anexo B – Fator de equivalência de operações

Fonte: DNIT, (2006.c).

Anexo C – Coeficiente de valência estrutural para alguns materiais

Componentes dos pavimentos	Coeficiente de equivalência estrutural (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 por penetração	1,20
Base granular	1,00
Sub-base granular	0,77(1,00)
Reforço do subleito	0,71 (1,00)
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 Kg/cm ²	1,70
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 Kg/cm ² e 28 Kg/cm ²	1,40
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 Kg/cm ² e 21 Kg/cm ²	1,20
Bases de Solo-Cal	1,20

Fonte: DNIT, (2006.b).

Anexo D – Coeficiente de recalque (K)

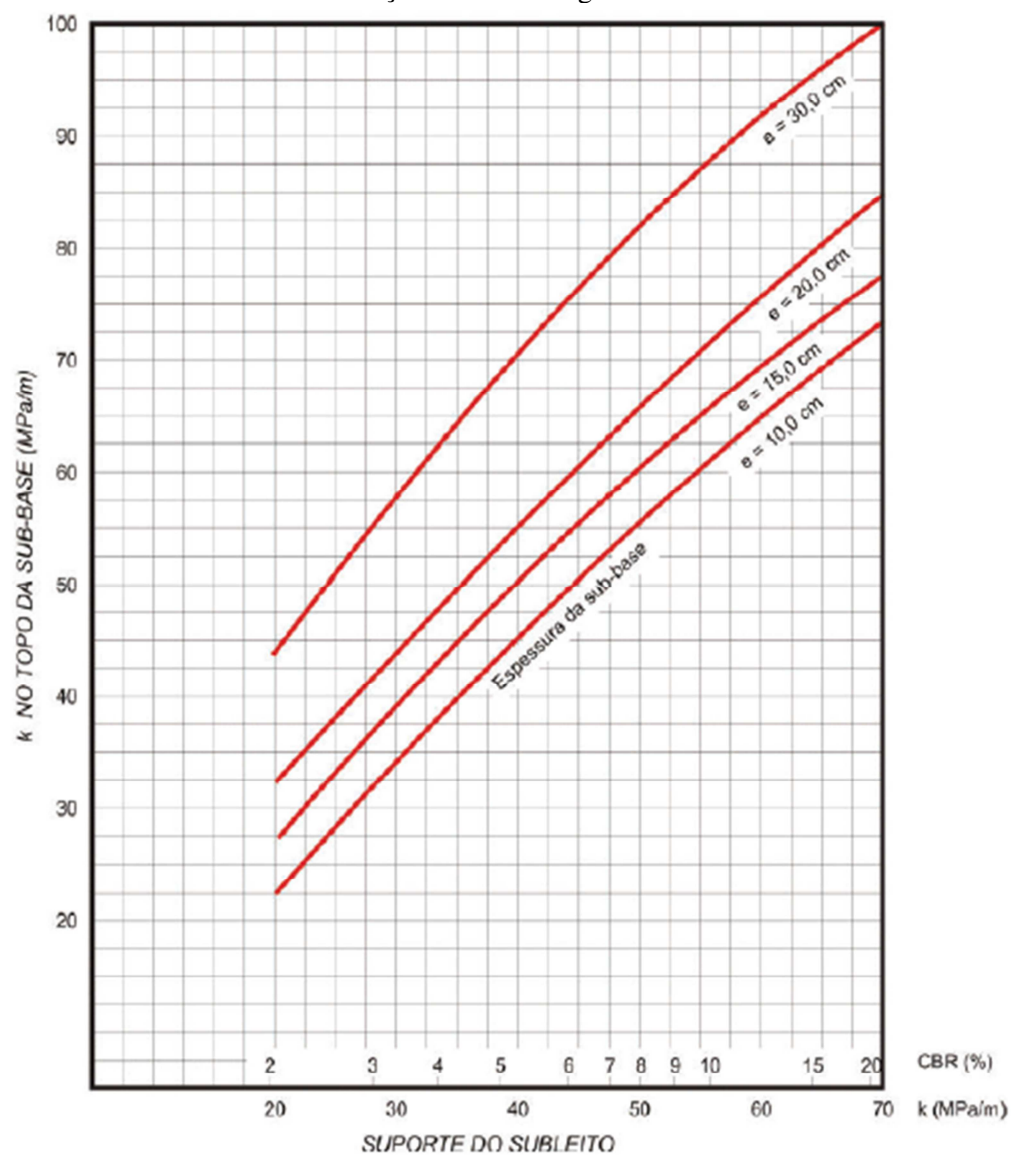
Fonte: DNIT, (2006.a).

Anexo E – Fator de segurança para carga

Tipo de Pavimento	FSC
– para ruas com tráfego com pequena porcentagem de caminhões e pisos em condições semelhantes de tráfego (estacionamentos, por exemplo)	1,0
– para estradas e vias com moderada frequência de caminhões	1,1
– para altos volumes de caminhões	1,2
– pavimentos que necessitem de um desempenho acima do normal	Até 1,5

Fonte: DNIT, (2006.a).

Anexo F – Aumento do K em função da sub-base granular



Fonte: DNIT, (2006.a).

Anexo G – Tensão equivalente para eixo simples e tandem duplo (pavimento com acostamento de concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)															
	20		40		60		80		100		150		180			
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD
12	3,36	2,82	2,95	2,46	2,74	2,31	2,60	2,22	2,49	2,16	2,31	2,08	2,19	2,04		
13	3,02	2,56	2,66	2,22	2,47	2,08	2,34	1,99	2,25	1,94	2,09	1,86	1,99	1,81		
14	2,74	2,34	2,41	2,02	2,24	1,89	2,13	1,80	2,05	1,75	1,91	1,67	1,82	1,62		
15	2,50	2,15	2,20	1,85	2,05	1,72	1,95	1,64	1,88	1,59	1,75	1,51	1,67	1,46		
16	2,29	1,99	2,02	1,71	1,88	1,58	1,80	1,51	1,73	1,46	1,61	1,38	1,55	1,33		
17	2,11	1,85	1,86	1,58	1,74	1,46	1,66	1,39	1,60	1,34	1,49	1,26	1,43	1,21		
18	1,96	1,72	1,73	1,47	1,61	1,35	1,54	1,29	1,48	1,24	1,39	1,16	1,33	1,12		
19	1,82	1,62	1,61	1,38	1,50	1,27	1,43	1,20	1,38	1,16	1,29	1,08	1,24	1,04		
20	1,70	1,52	1,50	1,29	1,40	1,19	1,34	1,13	1,29	1,08	1,21	1,01	1,16	0,97		
21	1,59	1,44	1,40	1,22	1,31	1,12	1,26	1,06	1,21	1,02	1,13	0,95	1,09	0,91		
22	1,49	1,35	1,32	1,15	1,23	1,06	1,18	1,00	1,14	0,96	1,07	0,89	1,02	0,86		
23	1,40	1,29	1,24	1,09	1,16	1,00	1,11	0,95	1,07	0,91	1,01	0,84	0,97	0,81		
24	1,32	1,23	1,17	1,04	1,10	0,95	1,05	0,90	1,01	0,86	0,95	0,80	0,91	0,76		
25	1,25	1,18	1,11	0,99	1,04	0,91	0,99	0,85	0,96	0,82	0,90	0,76	0,87	0,73		
26	1,19	1,12	1,05	0,95	0,98	0,87	0,94	0,81	0,91	0,78	0,86	0,72	0,82	0,69		
27	1,13	1,06	1,00	0,91	0,93	0,83	0,89	0,78	0,86	0,74	0,81	0,69	0,76	0,66		
28	1,07	1,03	0,95	0,87	0,89	0,79	0,85	0,74	0,82	0,71	0,78	0,66	0,75	0,63		
29	1,02	0,99	0,91	0,84	0,85	0,76	0,81	0,71	0,78	0,68	0,74	0,63	0,71	0,60		
30	0,98	0,95	0,87	0,81	0,81	0,73	0,77	0,69	0,75	0,66	0,71	0,61	0,68	0,58		
31	0,93	0,92	0,83	0,78	0,77	0,71	0,74	0,66	0,72	0,63	0,68	0,58	0,65	0,55		
32	0,90	0,89	0,79	0,75	0,74	0,68,00	0,71	0,64	0,69	0,61	0,65	0,56	0,62	0,53		
33	0,86	0,86	0,76	0,72	0,71	0,66	0,68	0,61	0,66	0,59	0,62	0,54	0,60	0,51		
34	0,83	0,83	0,73	0,70	0,69	0,63	0,66	0,59	0,63	0,57	0,60	0,52	0,57	0,49		

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: DNIT, (2006.a).

Anexo H – Tensão equivalente para eixos tandem triplos (pavimento com acostamento de concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (Mpa/m)					
	20	40	60	80	140	180
	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT
12	2,60	2,00	1,93	1,89	1,85	1,85
13	1,97	1,78	1,70	1,66	1,61	1,61
14	1,78	1,59	1,52	1,48	1,43	1,42
15	1,62	1,44	1,37	1,30	1,27	1,26
16	1,49	1,32	1,24	1,20	1,15	1,13
17	1,38	1,21	1,14	1,10	1,15	1,03
18	1,28	1,12	1,05	1,01	1,04	0,94
19	1,19	1,04	0,98	0,94	0,96	0,86
20	1,12	0,98	0,91	0,87	0,88	0,80
21	1,05	0,92	0,85	0,81	0,82	0,74
22	0,99	0,86	0,80	0,76	0,76	0,69
23	0,93	0,81	0,76	0,72	0,71	0,65
24	0,88	0,77	0,71	0,68	0,67	0,61
25	0,84	0,73	0,68	0,64	0,63	0,57
26	0,79	0,70	0,64	0,61	0,59	0,54
27	0,75	0,66	0,61	0,58	0,56	0,52
28	0,72	0,63	0,59	0,56	0,53	0,49
29	0,68	0,60	0,56	0,53	0,51	0,47
30	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,45
31	0,62	0,55	0,51	0,49	0,46	0,43
32	0,59	0,53	0,49	0,47	0,44	0,41
33	0,57	0,51	0,47	0,45	0,41	0,39
34	0,54	0,49	0,46	0,43	0,39	0,38

ETT: Eixos Tandem Triplos

Fonte: DNIT, (2006.a).

Anexo I – Fator de erosão para eixos tandem triplos (pavimento com acostamento de concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (Mpa/m)											
	20		40		60		80		100		150	
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD
12	3,25	3,29	3,20	3,19	3,18	3,13	3,17	3,11	3,16	3,09	3,13	3,04
13	3,16	3,23	3,11	3,12	3,09	3,06	3,08	3,04	3,06	3,02	3,03	2,97
14	3,08	3,17	3,03	3,06	3,00	2,99	2,99	2,97	2,98	2,95	2,95	2,90
15	3,00	3,11	2,95	3,00	2,92	2,93	2,91	2,91	2,90	2,88	2,87	2,83
16	2,93	3,06	2,88	2,94	2,85	2,88	2,84	2,85	2,82	2,82	2,79	2,77
17	2,87	3,01	2,81	2,89	2,78	2,82	2,77	2,79	2,75	2,77	2,72	2,71
18	2,80	2,97	2,74	2,84	2,71	2,77	2,70	2,74	2,69	2,71	2,66	2,64
19	2,74	2,92	2,68	2,80	2,65	2,72	2,64	2,69	2,62	2,66	2,59	2,60
20	2,69	2,88	2,62	2,76	2,59	2,68	2,58	2,64	2,56	2,62	2,53	2,55
21	2,63	2,84	2,57	2,71	2,53	2,64	2,52	2,60	2,51	2,57	2,48	2,50
22	2,58	2,80	2,51	2,68	2,48	2,59	2,47	2,56	2,45	2,53	2,42	2,46
23	2,53	2,77	2,46	2,64	2,43	2,55	2,42	2,51	2,40	2,48	2,37	2,41
24	2,48	2,74	2,42	2,60	2,38	2,52	2,37	2,48	2,36	2,45	2,33	2,31
25	2,44	2,71	2,37	2,57	2,34	2,49	2,33	2,45	2,31	2,42	2,28	2,34
26	2,40	2,68	2,33	2,54	2,30	2,46	2,28	2,41	2,27	2,38	2,24	2,31
27	2,36	2,65	2,29	2,51	2,26	2,43	2,24	2,38	2,22	2,35	2,20	2,27
28	2,33	2,62	2,25	2,49	2,22	2,40	2,20	2,35	2,18	2,32	2,16	2,24
29	2,29	2,60	2,22	2,46	2,18	2,37	2,16	2,33	2,14	2,30	2,12	2,21
30	2,26	2,57	2,18	2,43	2,15	2,33	2,12	2,30	2,11	2,27	2,08	2,18
31	2,22	2,55	2,15	2,41	2,11	2,32	2,09	2,27	2,07	2,24	2,04	2,15
32	2,19	2,52	2,11	2,38	2,08	2,29	2,05	2,25	2,03	2,22	2,01	2,13
33	2,16	2,50	2,08	2,36	2,04	2,27	2,02	2,22	2,00	2,19	1,99	2,10
34	2,13	2,48	2,05	2,34	2,01	2,25	1,98	2,20	1,97	2,17	1,94	2,07

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: DNIT, (2006.a).

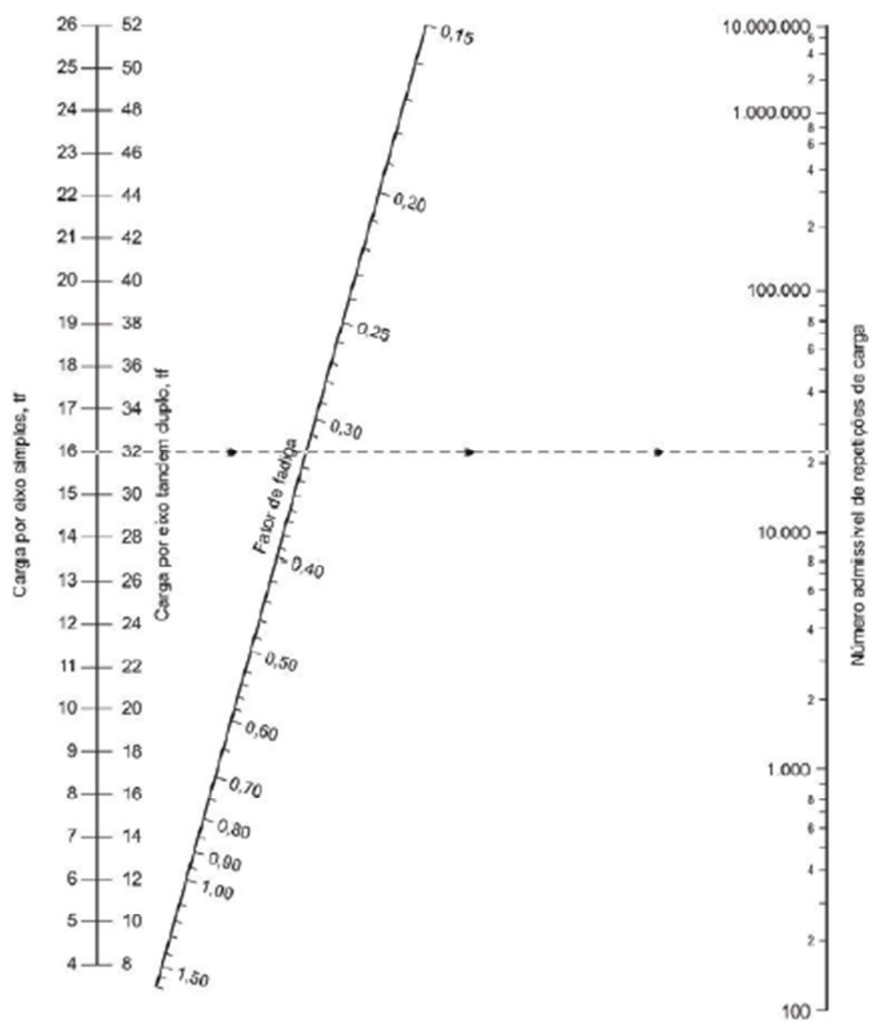
Anexo J – Fator de erosão para eixos simples e tandem duplos (pavimento com acostamento de concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (Mpa/m)				
	20	40	60	80	180
	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT
12	3,29	3,18	3,12	3,09	3,02
13	3,23	3,11	3,05	30,10	2,94
14	3,17	3,04	2,98	2,94	2,87
15	3,12	2,99	2,92	2,88	2,80
16	3,08	2,94	2,87	2,82	2,74
17	3,03	2,89	2,82	2,77	2,69
18	2,99	2,85	2,77	2,72	2,60
19	2,96	2,81	2,73	2,68	2,59
20	2,93	2,77	2,69	2,64	2,54
21	2,89	2,74	2,65	2,60	2,50
22	2,87	2,71	2,62	2,56	2,47
23	2,84	2,68	2,59	2,53	2,43
24	2,81	2,65	2,55	2,50	2,40
25	2,79	2,62	2,53	2,47	2,37
26	2,77	2,60	2,50	2,44	2,34
27	2,74	2,57	2,48	2,39	2,31
28	2,72	2,55	2,46	2,37	2,28
29	2,70	2,53	2,43	2,35	2,26
30	2,68	2,51	2,41	2,33	2,23
31	2,67	2,49	2,39	2,31	2,21
32	2,65	2,47	2,37	2,29	2,19
33	2,63	2,45	2,35	2,27	2,17
34	2,61	2,43	2,33	2,27	2,15

ETT: Eixos Tandem Triplos

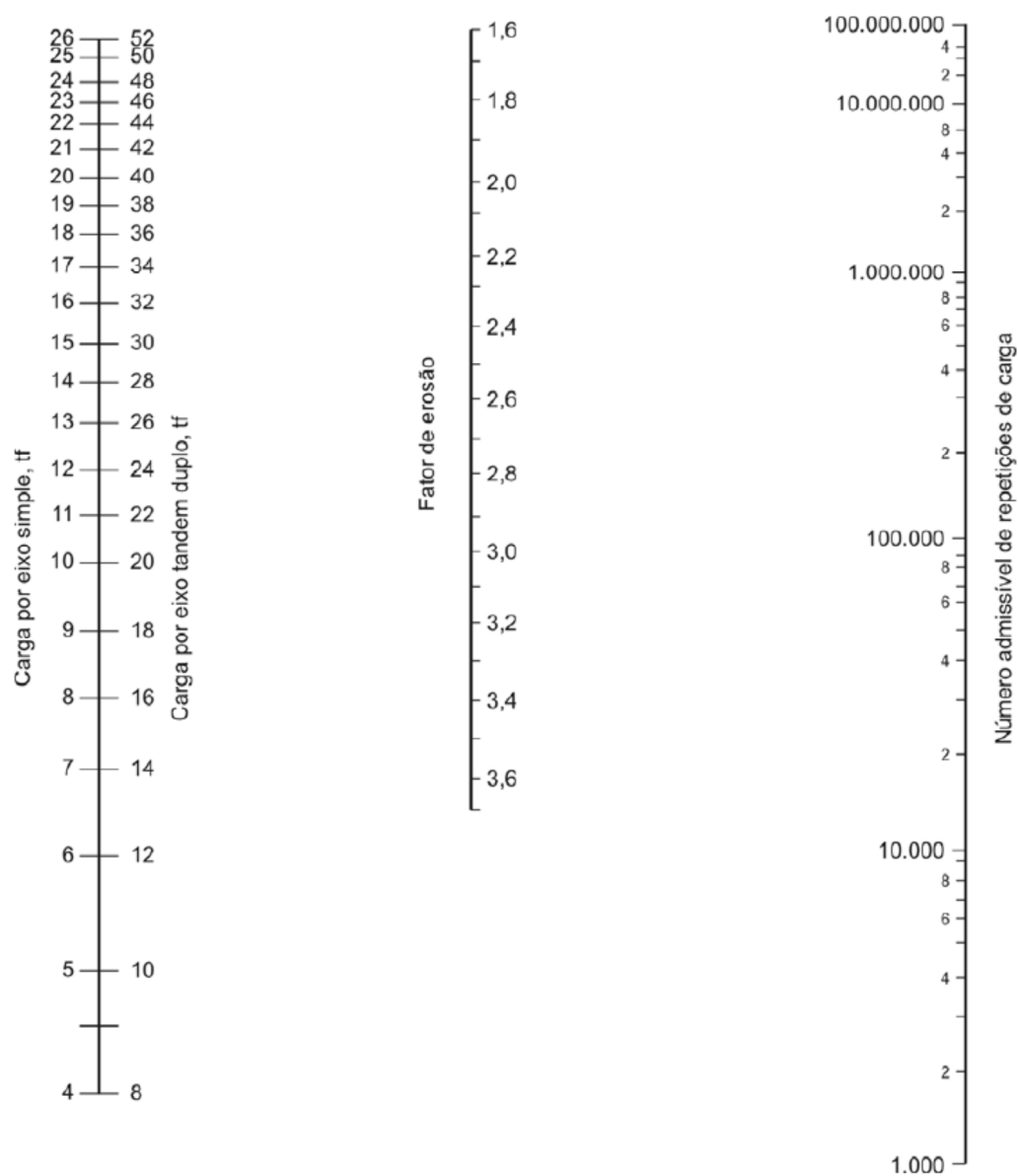
Fonte: DNIT, (2006.a).

Anexo K – Análise de fadiga – número de repetições admissíveis em função do fator de fadiga (com ou sem acostamento de concreto)



Fonte: DNIT, (2006.a).

Anexo L – Análise de erosão - Número de repetições admissíveis em função do fator de erosão (com acostamento de concreto)



Fonte: DNIT, (2006.a).

APÊNDICES

Apêndice A – Dimensionamento do pavimento flexível

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL MÉTODO DO DNER 1979/81

DADOS DE ENTRADA:

Tráfego: $N = 3E+08$ (8,2 t)
CBR (subleito) = 10 %

DIMENSIONAMENTO:

FATOR CLIMÁTICO

Consideração quanto as variações de umidade dos materiais do pavimento durante as diversas estações do ano (que se traduz em variações de capacidade de suporte dos materiais)

FR = 1,8 (0,2 a 5,0)

ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO

N (número equivalente de operações do eixo-padrão)	Espessura Mínima
$N \leq 10^6$	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

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 a compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm ²	1,70
Solo cimento com resistência a compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm ² e 28 kg/cm ²	1,40
Solo cimento com resistência a compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm ² e 21 kg/cm ²	1,20

Fonte: Autor, (2019).

Apêndice B – Dimensionamento do pavimento flexível

DETERMINAÇÃO DAS ESPESSURAS DO PAVIMENTO

$$H = 77,67 \times N^{0,0482} \times \text{CBR}^{0,598}$$

revestimento	$K_R = 2$	$H_{20} = 39,84 \text{ cm}^{(2)}$	$H_{\text{Ref}} = 45,06 \text{ cm}$	$H_T = 51,18 \text{ cm}$
base	$K_B = 1$ $\text{CBR} = 80$			
sub-base	$K_S = 1$ $\text{CBR} = 20^{(1)}$			
reforço	$K_{\text{Ref}} = 1$ $\text{CBR} = 12$			
subleito	$\text{CBR} = 10$			

CONSIDERAÇÕES:

- A espessura mínima camadas granulares = 10,00 cm, espessura total mínima é de 15,00 cm e espessura máxima de compactação = 20,00 cm.

¹ - O CBR para este calculo é 20 exceto para materiais com valores menores que este.

² - Quando o CBR da sub-base for maior ou igual a 40 e para $N \leq 10^6$, admite-se substituir na inequação (1), H_{20} por $0,8 \times H_{20}$. Para $N > 10^7$, recomenda-se substituir na inequação (1), H_{20} por $1,2 \times H_{20}$.

INEQUAÇÕES:

$$(1) R K_R + B K_B \geq H_{20}$$

$$(2) R K_R + B K_B + h_{20} K_S \geq H_{\text{Ref}}$$

$$(3) R K_R + B K_B + h_{20} K_S + h_{\text{Ref}} K_{\text{Ref}} \geq H_T$$

	Calculado	Adotado
Revestimento (R) =	-----	12 cm
Base (B) =	15,8 cm	14 cm
Sub-base (h_{20}) =	7,06 cm	14 cm
Reforço (h_{Ref}) =	-0,82 cm	0 cm

Fonte: Autor, (2019).

Apêndice C – Dimensionamento do pavimento flexível**MATERIAIS EMPREGADOS NO PAVIMENTO****REFORÇO DO SUBLEITO**

CBR maior que o do subleito

Expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10 lb)

SUB-BASE

CBR $\geq 20\%$

I.G. = 0

Expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10 lb)

BASE

CBR $\geq 80\%$

Expansão $\leq 0,5\%$ (medida com sobrecarga de 10 lb)

Limite de liquidez $\leq 25\%$

Índice de plasticidade $\leq 6\%$

* Caso o limite de liquidez seja superior a 25% e/ou o índice de plasticidade seja superior a 6, o material pode ser aplicado em base (satisfeita as demais condições), desde que o equivalente de areia seja superior a 30;

** Para um número de repetições do eixo-padrão, durante o período do projeto $N \leq 5 \times 10^6$, podem ser empregados materiais com CBR $\geq 60\%$ e as faixas granulométricas E e F

Fonte: Autor, (2019).

Apêndice D – Dimensionamento do pavimento rígido

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO RÍGIDO						
PCA 1984						
Espeçura da placa de concreto:	20 cm	Material usado na base:	BGS			
CBR do Subleito:	9,70%	Espeçura da base:	25 cm			
K do subleito:	54 MPa/m	Acostamento:	Sim			
Aumento do K devido a base granular:	77 MPa/m	Barras de transferência:	Sim			
Resistência do concreto:	20 MPa	Fator de segurança:	1,5			
CÁLCULO DE EIXOS TOTAIS POR CLASSE DE CARGA (10 ANOS)						
ESRS e ESRD						
Tensão equivalente:		1,35	Fator de erosão:		2,59	
Fator de fadiga:		0,0675				
Carga por eixo (tf)	Carga por eixo x Fator de Segurança	Nº de repetições previstas	Nº de repetições admissíveis	Consumo de fadiga (%)	Nº de repetições admissíveis	Consumo de erosão (%)
6	9	11.366.100	Ilimitado	0,00%	Ilimitado	0,00%
10	15	4.832.600	Ilimitado	0,00%	12.000.000	40,27%
ETD						
Tensão equivalente:		1,14	Fator de erosão:		2,66	
Fator de fadiga:		0,057				
Carga por eixo (tf)	Carga por eixo x Fator de Segurança	Nº de repetições previstas	Nº de repetições admissíveis	Consumo de fadiga (%)	Nº de repetições admissíveis	Consumo de erosão (%)
17	25,5	7.471.550	Ilimitado	0,00%	25.000.000	29,89%
ETT						
Tensão equivalente:		0,88	Fator de erosão:		2,67	
Fator de fadiga:		0,044				
Carga por eixo (tf)	Carga por eixo x Fator de Segurança	Nº de repetições previstas	Nº de repetições admissíveis	Consumo de fadiga (%)	Nº de repetições admissíveis	Consumo de erosão (%)
25,5	38,25	2.405.350	Ilimitado	0,00%	9.000.000	26,73%
TOTAL (Fadiga):		0,00%	TOTAL (Erosão):		96,88%	
TOTAL (%): 96,88%						

TOTAL: 96,88% < 100,00%

APROVADO!

Fonte: Autor, (2019).