

**REDE DE ENSINO DOCTUM  
UNIDADE JOÃO MONLEVADE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MARCOS VINICIUS LOPES ASSIS  
WAGNER JÚNIOR DA SILVA CRISTO**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA ENTRE O  
PAVIMENTO FLEXÍVEL E RÍGIDO PARA  
DUPLICAÇÃO DA RODOVIA FEDERAL 381 LOTE 8A**

**JOÃO MONLEVADE**

**2018**

**MARCOS VINICIUS LOPES ASSIS  
WAGNER JÚNIOR DA SILVA CRISTO**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA ENTRE O PAVIMENTO FLEXÍVEL E  
RÍGIDO PARA DUPLICAÇÃO DA RODOVIA FEDERAL 381 LOTE 8A**

Trabalho apresentado ao 10º período do Curso  
Bacharelado em Engenharia Civil da Rede  
Doctum de Ensino – Faculdade Comunitária de  
João Monlevade para a Disciplina envolvida:  
TCC II – Prof. Wagner Cavallare de Souza

Professor Orientador: M.<sup>a</sup> Máisa C. P. Aguiar

**JOÃO MONLEVADE**

**2018**

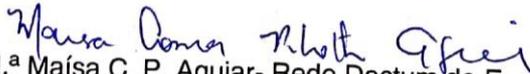
MARCOS VINICIUS LOPES ASSIS  
WAGNER JÚNIOR DA SILVA CRISTO

ANÁLISE DE VIABILIDADE ENTRE O PAVIMENTO FLEXÍVEL E RÍGIDO PARA  
DUPLICAÇÃO DA RODOVIA FEDERAL 381 LOTE 8A

Trabalho apresentado ao 10º período do Curso  
Bacharelado em Engenharia Civil da Rede  
Doctum de Ensino – Faculdade Comunitária de  
João Monlevade para a Disciplina envolvida:  
TCC II – Prof. Wagner Cavallare de Souza

João Monlevade, 05 de Dezembro de 2018

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. M.<sup>a</sup> Maísa C. P. Aguiar - Rede Doctum de Ensino - Orientadora

  
Prof. Esp. Marco Túlio Domingues Costa - Rede Doctum de Ensino

  
Prof. M.<sup>a</sup> Viviane Dias Andrade - Rede Doctum de Ensino

**A Nossos Pais Antônio e Joana D'Arc, Wagner e Kátia, aos nossos irmãos João Paulo, Luis Henrique e Vitória, que com muito carinho e esforço para que chegássemos nesta etapa das nossas vidas, aos amigos e colegas, pelo incentivo e pelo apoio constante e a todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.**

## **AGRADECIMENTOS**

Dedicamos primeiramente a Deus que iluminou o nosso caminho durante essa caminhada, ao programador Marcos pelo conhecimento técnico, agradecemos também a todos os professores que nos acompanharam durante a graduação, em especial a professora Máisa responsável pela orientação deste trabalho.

**“Quando estiver triste converse com um  
saco de cimento porque na vida só  
devemos acreditar naquilo que um dia será  
concreto.”**

**Rafael Silveira**

## RESUMO

Esse artigo visa analisar a viabilidade de implantação do pavimento rígido no lugar do flexível para um determinado trecho da BR-381/MG. O Pavimento Flexível é o tipo de pavimentação predominante no Brasil, sendo que pouco mais dos 200.000 km de rodovias pavimentadas, cerca de 95% utiliza o revestimento flexível (asfalto) e apenas 2% são de revestimento rígido (concreto). Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), o Pavimento Rígido tem uma maior durabilidade e eficiência para o rolamento de veículos, principalmente para os veículos pesados. Considerando que a pavimentação na rodovia é imprescindível para o fluxo produtivo, além de interligar as diversas regiões, para análise da viabilidade técnica e financeira foi levado em consideração os aspectos de durabilidade e principalmente segurança na escolha do pavimento a ser implantado, através da apresentação das características de cada pavimento, o local de estudo, o estudo de trafego, os projetos de pavimentação e a planilha de custo médio gerencial para implantação de pavimentos.

**Palavras-chave:** Pavimento Flexível. Pavimento Rígido. Viabilidade. Durabilidade. Segurança.

## **ABSTRACT**

This article proposes to analyze the viability to replace part of the flexible pavement of the BR-381/MG to a rigid one. The flexible pavement is the most common type in Brasil, more than 200,000 km of the paved roads, about 95%, uses the flexible coating (asphalt) and about 2% uses the rigid coating (concrete). According to the Brazilian Portland Cement Association (ABCP), the rigid pavement possesses a greater durability and efficiency for the traffic of vehicles, especially for the heavy ones. Noticing that the road pavement is essential for the productive flow, besides to connect regions, it was taken in consideration the aspects of durability and, most important, safety in the choice of the pavement to be implanted, through the display of the characteristics of which pavement, the study site, traffic study, paving projects and the average cost worksheet for pavement deployment.

**Keywords:** Flexible pavement. Rigid pavement. Viability. Durability, Safety.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura do pavimento em geral .....	15
Figura 2 - Distribuição de Cargas no Pavimento Flexível.....	16
Figura 3 - Distribuição de Cargas no Pavimento Rígido.....	18
Figura 4 - Estrutura dos Pavimentos Rígidos e Flexíveis.....	20
Figura 5 - Lançamento do Concreto.....	24
Figura 6 - Nivelamento e Acabamento .....	24
Figura 7 - Corte das Juntas de dilatação.....	24
Figura 8 - Aplicação do CCR.....	25
Figura 9 - Detalhe da forma.....	26
Figura 10 - Pós Concretagem .....	26
Figura 11 - Etapas da Concretagem .....	27
Figura 12 - Camadas do Pavimento Flexível.....	28
Figura 13 - Trecho da duplicação BR381 .....	35
Figura 14 - Trechos e Lotes de Construção da BR-381 .....	36
Figura 15 - Mapa de Situação da Rodovia .....	37
Figura 16 - Seção Transversal do Pavimento Flexível.....	43
Figura 17 - Seção Transversal da Pavimento Rígido.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores Econômicos.....	30
Tabela 2 - Fatores de desempenho .....	30
Tabela 3 - Fatores de projeto .....	31
Tabela 4 - Fatores de consumo de energia.....	31
Tabela 5 - Fatores de construção.....	32
Tabela 6 - Fatores de manutenção .....	32
Tabela 7 - Fatores de segurança .....	33
Tabela 8 - Características técnicas da rodovia BR 381.....	38
Tabela 9 - Resumo VDMAT BR 381/MG.....	39
Tabela 10 - Profundidade de remoção de materiais.....	42
Tabela 11 - Planilha de custo médio gerencial - 2012.....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANP - Agência Nacional do Petróleo

CAUQ - Concreto Asfáltico Usinado a Quente

CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente

CCP - Concreto de Cimento Portland

CCR - Concreto Compactado com Rolo

CMG - Custo Médio Gerencial

DER - Departamento de Estradas de Rodagem

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

ES - Espírito Santo

FV - Fatores de Veículos

ISC - Índice de Suporte Califórnia

MG - Minas Gerais

NBR - Norma Brasileira

OAE - Obras de Arte Especiais

TSD - Tratamento Superficial Duplo

TST - Tratamento Superficial Triplo

USACE - United States Army Corps Engineers

RJ - Rio de Janeiro

RR-1C - Emulsão asfáltica de ruptura rápida - 1 - baixo resíduo

RR-2C - Emulsão asfáltica de ruptura rápida - 2 - alto resíduo

SICRO - Sistema de Custos Rodoviários

SP - São Paulo

VDA - Máquina Vibroacabadora

VDMAT - Volume médio diário anual de tráfego

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 OBJETIVO GERAL.....	13
1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	13
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
2.1 FUNÇÕES DO PAVIMENTO .....	14
2.2 CLASSIFICAÇÕES DOS PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS .....	14
2.3 ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS .....	19
2.4 BREVE HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO DE ESTRADAS NO BRASIL .....	22
2.5 PROCESSO EXECUTIVO DO PAVIMENTO RÍGIDO .....	23
<b>2.5.1 Materiais Utilizados</b> .....	<b>25</b>
<b>2.5.2 Base</b> .....	<b>25</b>
<b>2.5.4 Juntas de dilatação</b> .....	<b>26</b>
<b>2.5.5 Armadura</b> .....	<b>26</b>
<b>2.5.6 Concretagem</b> .....	<b>27</b>
<b>2.5.7 Cura</b> .....	<b>27</b>
2.6 PROCESSO EXECUTIVO PAVIMENTO FLEXÍVEL.....	28
<b>2.6.1 Tratamento inicial</b> .....	<b>28</b>
<b>2.6.2 Imprimação</b> .....	<b>29</b>
<b>2.6.3 Pintura de ligação</b> .....	<b>29</b>
<b>2.6.4 Distribuição e Compactação do CAUQ</b> .....	<b>29</b>
2.7 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTO FLEXÍVEL E RÍGIDO .....	30
2.8 CUSTOS MÉDIOS GERENCIAIS - CMG .....	34
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>35</b>
<b>4 ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>36</b>
4.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	38
4.2 ESTUDOS DE TRÁFEGO.....	38
4.3 ESTUDOS GEOTÉCNICOS.....	41
4.4 PROJETOS DE PAVIMENTAÇÃO.....	42
<b>4.4.1 Dimensionamento do pavimento asfáltico</b> .....	<b>42</b>
<b>4.4.2 Dimensionamento do pavimento rígido</b> .....	<b>43</b>
4.5 CUSTOS MÉDIOS GERENCIAIS - CMG .....	44

<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>7 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Uma estrada bem pavimentada é o ponto crucial no que diz respeito à necessidade de menor manutenção e maior durabilidade dos veículos além de ser um dos principais fatores que contribuem para segurança dos condutores.

O pavimento de concreto, usualmente de cimento Portland, tem grande durabilidade e alta resistência aos esforços solicitantes. Apresenta um custo de aplicação inicial elevado, comparado com o pavimento flexível, o que é compensado pela baixa necessidade de manutenção ao longo de sua vida útil.

Dessa forma, o pavimento de concreto torna-se uma opção competitiva em relação ao pavimento asfáltico, que apresenta durabilidade reduzida e necessita de frequentes manutenções para garantir suas condições de trafegabilidade. Além disso, o derramamento de óleo ou combustíveis não danifica o concreto, enfatizando a vantagem da execução desse tipo de pavimento, principalmente para rodovias com grandes volumes de tráfego e presença de veículos pesados (MULLER, 2016).

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo de caso comparando o uso do pavimento de concreto em relação ao asfalto na duplicação da Rodovia 381 lote 8A que compreende de Caeté até o entroncamento para Jaboticatubas, levando em consideração aspectos de segurança, manutenção, durabilidade e a sua viabilidade econômica.

### 1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Apresentar as vantagens e desvantagens da utilização de cada método de pavimentação;
- Comparar o pavimento rígido (concreto) e o pavimento flexível (asfalto), em relação a durabilidade e manutenção;
- Verificar a opção mais viável para a construção da rodovia em questão através de dados técnicos e análise de custo;

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 FUNÇÕES DO PAVIMENTO

Segundo a NBR7207 - Terminologia e classificação de pavimentação (ABNT,1982) a definição de pavimento é:

“Uma estrutura construída após terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a:

- a) Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- b) Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- c) Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.”

### 2.2 CLASSIFICAÇÕES DOS PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

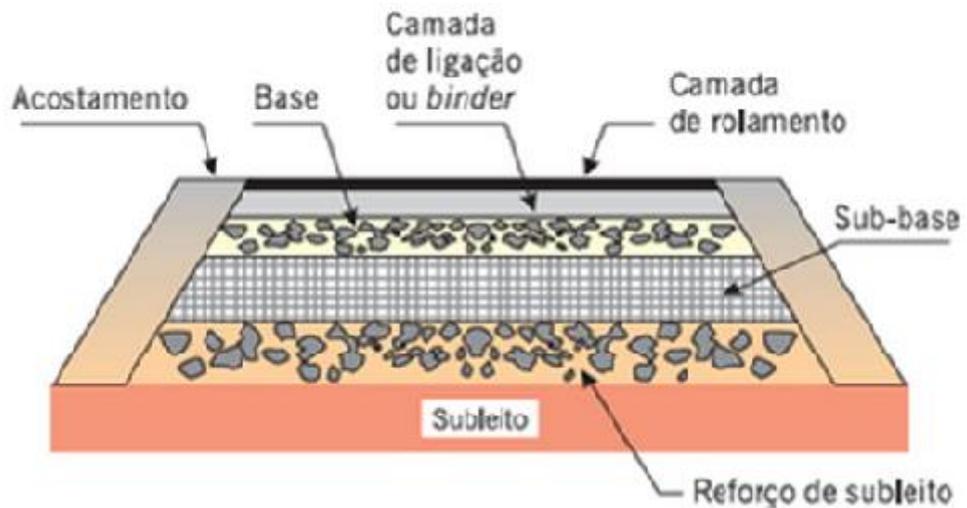
Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, como conforto, economia e segurança (BERNUCCI, 2010).

Segundo o Senço (2007), a seção transversal de um pavimento, consiste de uma fundação, subleito e de camadas com espessuras e materiais determinados pelos métodos de dimensionamento, sendo composta basicamente por:

- a) Subleito (terreno natural)
- b) Reforço do subleito (camada adicional)
- c) Sub-base (camada complementar)
- d) Base (suporte estrutural)
- e) Revestimento (capa de rolamento)

Essas camadas podem ser observadas na Figura.1.

Figura 1 - Estrutura do pavimento em geral



Fonte: SENÇO (2007)

De modo geral os pavimentos são divididos basicamente em três tipos, conforme o DNIT (2006):

- a) Pavimentos flexível: É o tipo de pavimento que sofre uma deformação elástica significativa em todas as suas camadas quando submetido a um esforço. Um exemplo típico é o pavimento constituído por uma camada asfáltica assente uma camada de base de brita graduada, assente um subleito construído.
- b) Pavimento rígido: É aquele que se caracteriza por ter uma elevada rigidez em relação as camadas inferiores, desde modo, ele acaba por absorver praticamente todas as tensões provenientes do esforço aplicado, como exemplo, podemos adotar pavimento constituído por placas de cimento Portland.
- c) Pavimento Semi-rígido: Caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias, ou seja, uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica.

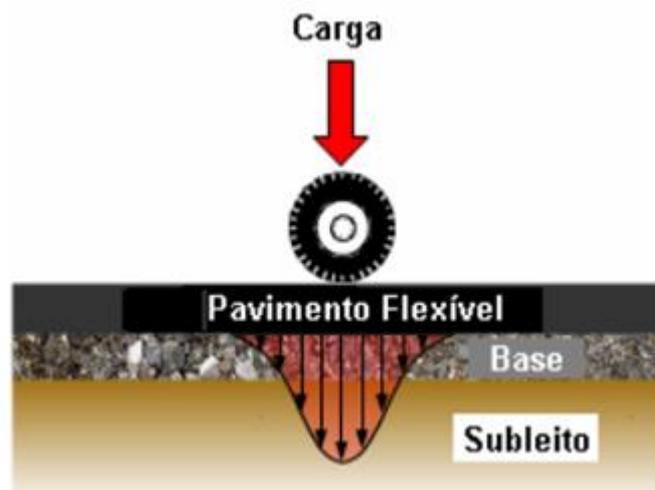
Os pavimentos a serem estudados neste trabalho são os flexíveis e rígidos. Uma das principais diferenças entre as duas tecnologias é a forma como as cargas são distribuídas no terreno: enquanto os pavimentos flexíveis tendem a transmitir as cargas verticalmente, concentradas num único ponto, as placas de concreto atuam de forma semelhante a uma ponte sobre o subleito. Dessa maneira, o solo tem menor responsabilidade, pois as cargas são distribuídas por uma área maior (LOTURCO, 2005).

#### a) Pavimento flexível

O pavimento flexível, que pode ser observado na Figura 2, é considerado como aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 2006).

A distribuição das tensões ocorre de forma mais concentrada, e sendo assim mais profunda, podendo atingir o subleito, causando ondulações permanentes (MESQUITA, 2001).

Figura 2 - Distribuição de Cargas no Pavimento Flexível



Fonte: ARAÚJO (2016)

De acordo com Castro (2008), os principais materiais constituintes da pavimentação flexível são:

- a) Material asfáltico (aglutinantes)
- b) Agregado graúdo (rocha ou seixo rolado)
- c) Agregado miúdo (areia ou pó-de-pedra)

Apresenta como principais revestimentos o Tratamento Superficial: Duplo (TSD), Triplo (TST) e o Concreto Betuminoso Usinado a Quente – CBUQ (BERNUCCI, 2010).

O Tratamento Superficial consiste na aplicação do ligante asfáltico sobre a base, seguida de distribuição de agregado, e sua compactação (DNIT, 2006). É a camada de revestimento do pavimento constituída por uma ou mais aplicações de ligante asfáltico, sendo o TSD com duas aplicações e TST com três aplicações, modificado ou não por polímero e uma ou mais aplicações sucessivas e alternadas de agregado mineral.

O concreto asfáltico ou betuminoso usinado a quente (CBUQ) é uma mistura executada a quente, em usina apropriada, com características específicas, compostas de agregado graduado, material de enchimento (Filler) quando necessário e cimento asfáltico, espalhada e compactada a quente, podendo ser empregado como revestimento, camada de ligação (Binder), base, regularização ou reforço do pavimento (DNIT, 2006).

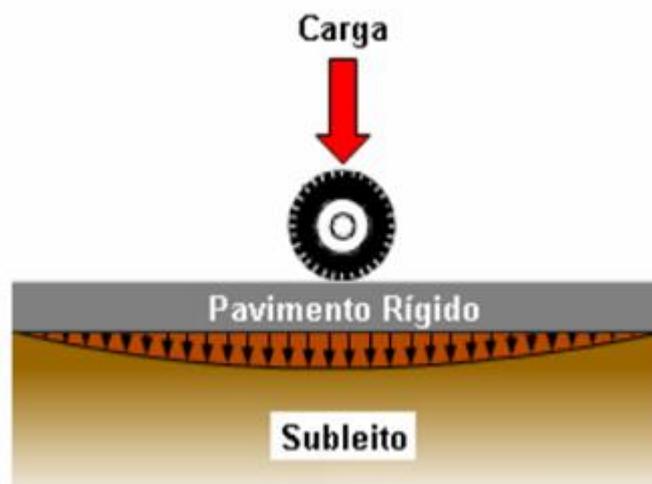
DNIT (2006) afirma que os pavimentos flexíveis são idealizados para durarem um determinado período específico, em média de 8 a 10 anos. Seu ciclo de vida se inicia com uma excelente condição de serventia até chegar a uma condição ruim, com a deterioração do pavimento, sendo necessário adotar procedimentos para maximizar a vida útil da pavimentação asfáltica, tais como: recapeamento, que consiste no acréscimo de mais uma camada de revestimento sobre a superfície existente, reconstrução, onde é realizada a remoção parcial ou total da espessura do pavimento, podendo atingir o subleito executado para posterior implantação de novas camadas; e reforço, que abrange um subsídio estrutural aplicado com o objetivo de tornar o pavimento resistente de modo que consiga cumprir seu ciclo de vida.

Segundo Araújo (2016) “o pavimento flexível sofre patologias como, por exemplo: a deformação por conta do óleo diesel (solvente para asfalto) e excesso de carga, derramada por veículos e a frenagem dos mesmos que amolece sob o efeito do calor e chuva”.

#### b) Pavimento rígido

Conforme a Figura 3, é aquele em que o revestimento possui uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 2006).

Figura 3 - Distribuição de Cargas no Pavimento Rígido



Fonte: ARAÚJO (2016)

Sua camada de revestimento desenvolve ao mesmo tempo as funções de camada estrutural e de superfície de rolagem. A distribuição de tensões é feita de forma mais distribuída e superficial, o que lhe atribui um melhor desempenho sobre bases frágeis, diferentemente do que ocorre com a pavimentação flexível, onde a função estrutural é exercida pelas camadas inferiores (MESQUITA, 2001).

Os pavimentos rígidos são constituídos de um revestimento com Placas de Concreto de Cimento Portland (CCP), as tensões solicitantes são combatidas pelo próprio concreto, podendo ser utilizadas armaduras em eventuais sistemas de

ligação de transferência de carga entre as placas formadas pelas juntas longitudinais e transversais de ligação (UFPR, [s/d]).

A pavimentação rígida apresenta como vantagens, uma matéria prima com características bem definidas e em abundância na natureza, ampla vida útil com pouca manutenção até esse período de aproximadamente vinte anos, a qualidade do pavimento é mantida ao longo dos anos, apresenta um melhor escoamento da água superficial, sendo praticamente impermeável e uma maior distância de visibilidade horizontal com boa reflexão da luz dos veículos (MESQUITA, 2001).

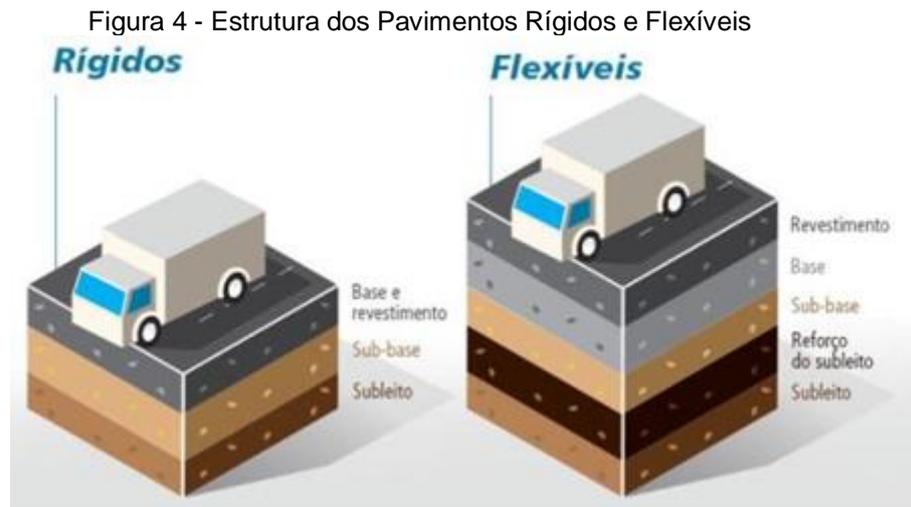
Erros em projeto ou execução pouco cuidadosa acarretam em patologias, cujas soluções podem encarecer consideravelmente a obra, dentre elas as trincas longitudinais e trincas transversais (MESQUITA, 2001).

### 2.3 ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS

Conforme DNIT – Manual da Pavimentação, Modalidades e Constituição de Pavimentos – 2006, os pavimentos rígidos são compostos por uma camada superficial de concreto de cimento Portland (em geral placas, armadas ou não), apoiada geralmente sobre uma camada de material granular ou de material estabilizado com cimento (chamada sub-base), assentada sobre o subleito ou sobre um reforço do subleito quando necessário.

Ainda segundo manual do DNIT, os pavimentos flexíveis são compostos por camada superficial asfáltica (revestimento), apoiada sobre camadas de base, de sub-base e de reforço do subleito, constituídas por materiais granulares, solos ou misturas.

A Figura 4 ilustra as diferenças de camadas entre os dois tipos de pavimentos.



Fonte: CAVA (2018)

As camadas que compõem o pavimento são:

a) Subleito

Segundo DNIT (2017) Subleito é o “Maciço teoricamente semi-infinito que serve de fundação para um pavimento”.

Ainda segundo DNIT, é o terreno de fundação onde será apoiado todo o pavimento. Deve ser considerado e estudado até as profundidades em que atuam significativamente as cargas impostas pelo tráfego. Para o dimensionamento de um pavimento rodoviário é indispensável o conhecimento do solo que servirá para a futura estrutura a ser construída. Este solo de fundação, chamado subleito, requer atenção especial, através de estudos geotécnicos, que possibilitam o seu reconhecimento, identificação e quantificação das suas características físicas e mecânicas assim como a obtenção dos parâmetros geotécnicos necessários ao dimensionamento da estrutura.

A espessura final do pavimento assim como os tipos de materiais a serem empregados é função das condições do subleito. Quanto pior forem as condições do subleito, maior será a espessura do pavimento, podendo muitas vezes, ser requerida a substituição parcial do mesmo, com troca por outro de melhores condições (DNIT 2017).

## b) Reforço do subleito

Conforme DNIT (2017) O reforço do subleito é a “camada estabilizada granulometricamente, executada sobre o subleito devidamente compactado e regularizado, utilizada quando se torna necessário reduzir espessuras elevadas da sub-base, originadas pela baixa capacidade de suporte do subleito”.

Tem o objetivo de melhorar as qualidades do sub-leito e regularizar a espessura da sub-base. Os materiais empregados nesta camada podem ser solos, misturas de solos ou materiais rochosos com características físicas melhores que os materiais empregados do subleito (DNIT 2017).

A utilização desta camada não é obrigatória, pois o uso de espessuras maiores nas camadas superiores alivia as pressões sobre um subleito fraco, mesmo assim recomenda-se utilizá-la por questões econômicas pois quando empregados exigem camadas menos espessas de base e sub-base que geralmente tem um custo mais elevado (BALBO, 2007).

## c) Base e Sub-base

Uma definição para sub-base conforme DNIT (2017) é: “Camada complementar à base, com as mesmas funções desta, e executada quando, por razões de ordem econômica, for conveniente reduzir a espessura de base”. Pode ser usado para regularizar a espessura da camada posterior. Uma definição para base é: “Camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos dos veículos, distribuindo-os ao subleito, e sobre a qual se constrói o revestimento. Esta camada pode ser constituída de brita fina, cascalho, pedra amarrada, material estabilizado, concreto asfáltico ou de cimento Portland.”

Seu objetivo principal é aliviar as pressões sobre as camadas de solo inferiores, aliado a isso elas também podem desempenhar papel importante na drenagem superficial dos pavimentos. Quanto o uso da camada de base é utilizado na função de distribuir os esforços para as demais camadas, geralmente ela tem sua espessura maior, devido a isso por razões econômica e construtivas recomenda-se o uso de uma camada de sub-base, dividindo- a em duas camadas sendo a de sub-base com menor custo de execução (BALBO, 2007)

#### d) Revestimento

Segundo DNIT (2017) revestimento é a “Camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação dos veículos e destinada a melhorar as condições do rolamento quanto ao conforto e segurança e a resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento”, é também chamada de capa ou camada de desgaste.

A camada de revestimento deverá, entre as demais funções, receber as cargas, estáticas ou dinâmicas, proveniente do tráfego, sem a desagregação de componentes, deformações elásticas, ou, a perda de compactação. Portanto, existe a necessidade de serem compostos de materiais bem aglutinados ou dispostos de forma que evitem a sua movimentação horizontal (BALBO, 2007).

#### e) Classificação dos pavimentos segundo o tráfego

Júnior (1992) afirma que os pavimentos podem ser classificados em função do tipo do tráfego diário:

- a) Muito leve: o fluxo de veículo é de até três veículos comerciais por dia;
- b) Leve: o fluxo de veículos é de até cinquenta veículos comerciais por dia;
- c) Médio: o fluxo de veículos é entre 51 e 400 veículos comerciais por dia;
- d) Pesado: o fluxo de veículos é entre 401 e 2000 veículos comerciais por dia;
- e) Muito pesado: o fluxo é acima de 2001 veículos comerciais por dia.

### 2.4 BREVE HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO DE ESTRADAS NO BRASIL

A Estrada União e Indústria, foi a primeira rodovia pavimentada do país, inaugurada em 23 de junho de 1861 pelo então imperador Dom Pedro II e liga Petrópolis – RJ a Juiz de Fora – MG. Construída com mão de obra de colonos alemães, a rodovia foi pavimentada pelo método macadame – piso composto por pequenas pedras, comprimidas de forma a se encaixarem umas nas outras. Na época, a estrada teve grande importância para o escoamento da produção cafeeira da região, representando um grande avanço da técnica de engenharia no Brasil,

uma vez que integrou e uniu os Estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais (Pires, 2012).

Rio-Petrópolis foi a primeira rodovia asfaltada do país, inaugurada em 25 de agosto de 1928 pelo presidente Washington Luís, conhecido pela frase “Governar é abrir estradas”. Construir uma estrada na Serra do Mar não foi tarefa simples para os engenheiros. Tanto que, até hoje, a obra provoca admiração com seus túneis escavados na pedra a mais de cem metros de altura. A velocidade máxima era de 60 quilômetros por hora (O Globo, 2013).

O pavimento de concreto, ao contrário do que se pensa, não é novidade nas vias e rodovias. O Brasil foi um dos primeiros países a empregá-lo já no início do século XX, e sua utilização foi intensificada até por volta de 1970, quando a nação voltou-se para o crescimento imobiliário, reduzindo o uso do concreto na pavimentação e, conseqüentemente, perdendo cultura tecnológica. A partir dos anos 90, a ABCP foi buscar pelo mundo o que havia de melhor em tecnologia de pavimentação em concreto, reativando a cultura e o domínio da sua execução, com o emprego dos mais modernos equipamentos (Castro, 2012).

## 2.5 PROCESSO EXECUTIVO DO PAVIMENTO RÍGIDO

O processo executivo da pavimentação rígida basicamente compreende quatro etapas: lançamento do concreto, distribuição e adensamento; nivelamento e acabamento; corte das juntas e cura e secagens, na Figura 5 pode-se observar o lançamento do concreto, na Figura 6 o nivelamento e acabamento, e na Figura 7 corte das juntas de dilatação.

Figura 5 - Lançamento do Concreto



Fonte: Batalhão da engenharia de construção (2008)

Figura 6 - Nivelamento e Acabamento



Fonte: Batalhão da engenharia de construção (2008)

Figura 7 - Corte das Juntas de dilatação



Fonte: PRÓPRIA (2018)

### 2.5.1 Materiais Utilizados

Os principais materiais utilizados na execução da pavimentação em concreto são: cimento Portland (comum), agregados graúdos (britas), agregados miúdos (areia), água, aditivos químicos (tipo plastificantes), aço, fibras, selantes, materiais para juntas que podem ser de fibra ou de borracha (DNIT 2004).

Concretos são amplamente conhecidos como materiais de construção, uma mistura devidamente proporcional de agregados miúdos e graúdos, ligante hidráulico e água, além da eventual introdução de minerais durante a moagem do clínquer e de aditivos para inibir ou ressaltar, temporariamente, algumas características das misturas, com menção especial aos plastificantes (redutores de água na mistura) e dos retardadores e aceleradores de pega (BALBO, 2012)

### 2.5.2 Base

É a camada mais importante da estrutura do pavimento, pois fica localizada logo abaixo do revestimento do pavimento, pois será responsável pelo suporte estrutural do pavimento tendo que dissipar as cargas para as próximas camadas, reduzindo sua intensidade. Caso a qualidade da base não seja boa será muito provável que aconteça algum dano a esse pavimento (SENÇO, 2007).

A pavimentação em concreto armado deverá ser executada após uma sub-base dimensionada para suportar o carregamento transferido pelas placas de concreto do pavimento, na figura 8 podemos observar a aplicação da camada de CCR, ou seja, concreto compacto com rolos (DNIT 2004).

Figura 8 - Aplicação do CCR



Fonte: PRÓPRIA (2018)

### 2.5.4 Juntas de dilatação

Um fator muito importante na execução da pavimentação em concreto é a execução de juntas de dilatação, essas juntas servem para permitir dilatação ou retração do concreto, tanto em relação à variação de temperatura quanto em relação à incidência de cargas (DNIT 2004).

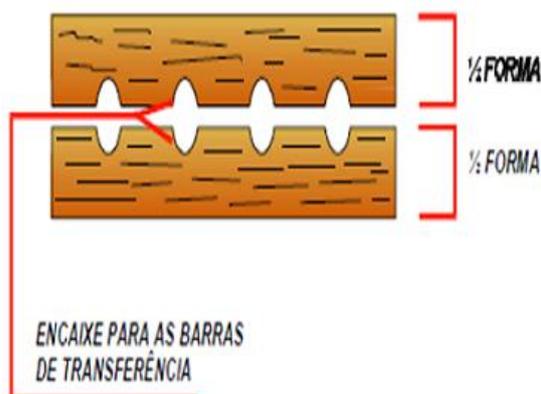
De todo sistema construtivo, certamente, os maiores problemas ocorrem nessas juntas, onde quase sempre aparecem patologias. Portanto, é uma etapa que merece muita atenção na hora da execução. O desconforto ao rolamento provocado pela presença de grandes aberturas de juntas foi, durante muito tempo, o responsável pelo preconceito contra a tecnologia. Se antes a distância entre placas era de até 3 cm, atualmente não costuma ultrapassar os 5 mm (LOTURCO, 2005).

Essas juntas deverão ser previstas na execução da forma, que poderão ser de dois tipos: juntas de retração ou dilatação, que ocorrem nas ligações entre as placas ou juntas de encontro (DNIT 2004).

### 2.5.5 Armadura

Armação do pavimento poderá ser feita com malha de aço ou barras soltas, caso necessite de barras de transferência a formas deverão ter furos previstos para passagem das barras, na figura 9 pode-se observar o detalhe da forma com desenho esquemático e na Figura 10 como foi executado in loco (DNIT 2007).

Figura 9 - Detalhe da forma



Fonte: PEDROSO (2010)

Figura 10 - Pós Concretagem

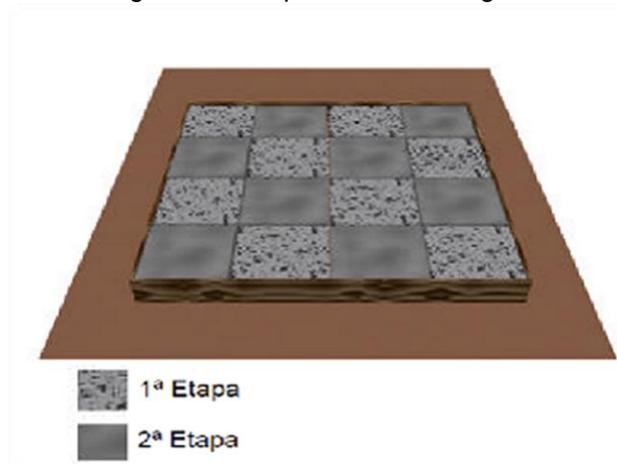


Fonte: PRÓPRIA (2018)

### 2.5.6 Concretagem

Existem vários métodos de concretagem sendo um deles a concretagem em xadrez: Na concretagem deverão ser previstas mestras (formas guias) em pontos intermediários para orientação do espalhamento do concreto e deverá ser executada em quadros alternados, na Figura 11 pode-se observar as etapas de concretagem (DNIT 2004).

Figura 11 - Etapas da Concretagem



Fonte: PEDROSO (2010)

Segundo o DNIT (2004) a distribuição do concreto é feita com rolos de alumínio ou enxadas, dependendo da espessura do concreto. O espalhamento é feito com régua vibratórias deslizantes apoiadas nas mestras ou nas formas laterais. As mestras são guias para execução do pavimento.

O adensamento do concreto é feito com as próprias régua ou se necessário com vibradores de imersão e o acabamento final é feito com uma acabadora de superfície em madeira ou alumínio em movimento de vai e vem; o acabamento visa remover excessos de água e argamassa da superfície (DNIT 2004).

### 2.5.7 Cura

A cura do concreto será iniciada poucas horas após a conclusão da concretagem, aplicando-se produto químico CURING-COMPOUND (Composto que ajuda a evitar a perda de umidade do concreto), ou similar, sobre as superfícies executadas, à razão de 200 g/m<sup>2</sup>. O pavimento deverá ser protegido contra a ação

do tempo pela utilização de tecido molhado de juta ou aniagem, ou outro tipo de cobertura que impeça a incidência solar e mantenha o pavimento úmido. O processo se prolongará por, no mínimo, por 7 dias. (DNIT 2004).

## 2.6 PROCESSO EXECUTIVO PAVIMENTO FLEXÍVEL

O processo executivo do pavimento flexível é realizado mediante a execução de várias camadas com características diferenciadas da base ao topo do pavimento.

O pavimento asfáltico é composto basicamente por cinco camadas: reforço do subleito, sub-base, base, camada de regularização e revestimento. A espessura de cada camada é definida com base no volume diário médio de veículos, tipo de solo existente, vida útil do projeto, tipos de veículos que irão circular e custo do investimento (Oscar e Silva, 2011), conforme figura 12 pode-se observar as camadas.

Figura 12 - Camadas do Pavimento Flexível



Fonte: HERMES (2013)

### 2.6.1 Tratamento inicial

O asfalto é aplicado após a execução da base e sub-base. Esse piso deve estar regular, compactado e isento de partículas soltas para suportar a carga dimensionada. O serviço não pode ser realizado com chuva ou temperatura local abaixo de 10°C. O material empregado varia de projeto para projeto. Em rodovias de longa vida útil, por exemplo, comumente é utilizado o CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado a Quente), também conhecido como CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) (Oscar e Silva, 2011).

### **2.6.2 Imprimação**

Também chamada de Imprimadura ou Prime – Coat. Consiste na aplicação de uma camada de material asfáltico sobre a superfície de uma base concluída, antes da execução de um revestimento asfáltico qualquer (DNER, 1971).

O ligante betuminoso, geralmente é asfalto diluído, CM-30 e CM-70, é aplicado por um caminhão com bomba reguladora de pressão e sistema de aquecimento, logo após o perfeito adensamento da base e a varredura da superfície com vassoura mecânica. O ligante deve ser absorvido pela base em 72 horas, tendo como objetivo a impermeabilização do solo através da penetração do material betuminoso. A taxa de aplicação é definida em laboratório, variando entre 0,8 l/m<sup>2</sup> a 1,6 l/m<sup>2</sup> (DNIT, 2006).

### **2.6.3 Pintura de ligação**

Também chamada de Tack - Coat. Consiste na aplicação de uma camada de material asfáltico sobre a base ou revestimento antigo com a finalidade precípua de promover sua ligação com a camada sobrejacente a ser executada (DNER, 1971).

Passados mais de sete dias entre a execução da imprimação e a do revestimento, a pintura de ligação deve ser feita. O material betuminoso utilizado tem uma taxa recomendada pelo DNIT de 0,3 l/m<sup>2</sup> a 0,4 l/m<sup>2</sup>, e as mais usadas são: RR-1C e RR-2C. O objetivo da sua aplicação é promover melhor condição de aderência entre a superfície da base e o CAUQ (DNIT, 2006).

### **2.6.4 Distribuição e Compactação do CAUQ**

O CAUQ deve ser distribuído sobre a superfície já imprimada e pintada, com auxílio de caminhões basculantes adequados e vibroacabadoras. Os materiais utilizados não devem exceder a temperatura de 177°C. Ao término da distribuição, a compactação deve ser iniciada pelos bordos, longitudinalmente, continuando em direção ao eixo da pista. Porém, em superelevação deve-se começar a compactação sempre pelo lado mais baixo para o ponto mais alto da curva. Ela é feita com o rolo pneumático e rolo metálico liso. Com o fim da compactação o tráfego só é aberto após o completo resfriamento (DNIT, 2006).

## 2.7 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTO FLEXIVEL E RIGIDO

As características comparativas dos pavimentos são apresentadas abaixo e estão divididas por fatores econômicos, de desempenho, de projeto, de consumo de energia, de construção, de manutenção e de segurança;

Na Tabela 1 estão demonstrados os fatores econômicos, onde se observa que o custo inicial do concreto é menor, mas demonstra o melhor desempenho e e menor manutenção do concreto.

Tabela 1 - Fatores Econômicos

<b>Concreto</b>	<b>Asfalto</b>
Custo inicial elevado	Custo inicial cresceu com o aumento relativo do preço do petróleo, mas sobretudo menor
Desempenho a longo prazo, com pouca manutenção	Manutenção rotineira é cara
Custo anual baixo e facilmente determinável	Custo anual alto e de difícil previsão
A qualidade da superfície é mantida ao longo de muitos anos	Os buracos e afundamentos são frequentes e causam sérios danos aos veículos
Economiza-se até 30% nas despesas com iluminação das vias	Não há economia na iluminação das vias

Fonte: MESQUITA (2001)

Na Tabela 2 são apresentados os fatores desempenho entre os quais se destaca a vida útil, melhor distribuição de cargas e menor influencia da temperatura no pavimento de concreto.

Tabela 2 - Fatores de desempenho

<b>Concreto</b>	<b>Asfalto</b>
Grande vida útil (mais de 20 anos)	Pequena vida útil (menos de 10 anos)
Resiste a produtos químicos, óleos, intempéries	É fortemente afetado pelos mesmos agentes
Conserva íntegra a seção transversal	Deforma-se, afunda-se, formam-se trilhas de rodas e buracos
Melhor distribuição das cargas	Não distribui uniformemente as cargas
É praticamente impermeável	Absorve a umidade com rapidez
É menos afetado pelo calor	Altas temperaturas produzem amolecimento e a perda do material

Fonte: MESQUITA (2001)

Os fatores de projeto apresentados na Tabela 3 mostram que para o pavimento asfáltico tem-se a diminuição da resistência com a idade bem como a necessidade de estruturas de drenagem mais complexas e maiores volumes escavados, com maior custo.

Tabela 3 - Fatores de projeto

<b>Concreto</b>	<b>Asfalto</b>
Técnicas de projeto praticamente invariáveis	Os métodos de dimensionamento são muito variáveis
A resistência aumenta com a idade	A resistência costuma diminuir com a idade, principalmente em climas quentes
Os meios-fios e sarjetas podem ser construídos juntamente com o pavimento	Os meios-fios e sarjetas são separados do pavimento
A seção total do pavimento é menor do que a necessária ao asfalto	Requer maior escavação e maior movimento de terra
As estruturas de drenagem são mais simples	São necessárias estruturas de drenagem mais complexas

Fonte: MESQUITA (2001)

Os fatores de consumo de energia são apresentados na Tabela 4 e entre eles destacam-se o uso de materiais locais e menor consumo de energia no caso do pavimento em concreto.

Tabela 4 - Fatores de consumo de energia

<b>Concreto</b>	<b>Asfalto</b>
Usa materiais locais, abundantes na Natureza	É derivado do petróleo importado, consome divisas
Todos os reparos podem ser feitos com os mesmos materiais	Usa os mesmos derivados do petróleo
Em grande parte das obras o equipamento é reduzido, semi mecânico e consome pouquíssimo combustível	O equipamento é de grande porte e consumo
A mistura do concreto é feita a frio e a energia consumida é a elétrica	A mistura do concreto é feita a quente e a energia consumida é o petróleo

Fonte: MESQUITA (2001)

Na tabela 5 o autor destaca as vantagens construtivas do pavimento de concreto como equipamento simplificado e utilização de mão de obra menos qualificada.

Tabela 5 - Fatores de construção

<b>Concreto</b>	<b>Asfalto</b>
Máximo de duas camadas	Camadas múltiplas
Rapidez de execução: concreto dosado em central	Equipamento numeroso e complexo
Mão-de-obra não especializada e abundante	Quantidade variável de serviços e materiais
Equipamento simplificado	Mão-de-obra escassa

Fonte: MESQUITA (2001)

Em relação aos fatores de manutenção, o autor destaca a maior necessidade de manutenção do pavimento asfáltico bem como a irregularidade dos reparos realizados, em muitas ocasiões, descritos na tabela 6.

Tabela 6 - Fatores de manutenção

<b>Concreto</b>	<b>Asfalto</b>
Pequena necessidade de manutenção rotineira	Remendos e substituições rotineiros
Manutenção pesada ou reforço somente após 25 anos ou mais	Reforço ou recapeamento a partir do quinto ano
Reparos uniformes e regulares	Reparos inadequados e irregulares
Menos mão-de-obra e equipamentos simples	Mais mão-de-obra e equipamentos complexos

Fonte: MESQUITA (2001)

Na tabela 7 é destacado os fatores de segurança, pode-se observar a melhor reflexão de luz e a melhor textura do revestimento de concreto.

Tabela 7 - Fatores de segurança

<b>Concreto</b>	<b>Asfalto</b>
Boa reflexão da luz, maior distância de visibilidade horizontal	Pouca reflexão da luz e visibilidade horizontal
Pode-se dar à superfície a textura desejada, controlando-se as derrapagens.	A superfície é lisa e escorregadia quando molhada
Inclinação da seção transversal é pequena, o que permite melhor controle dos veículos	Inclinação da seção é grande, o que dificulta o controle dos veículos
A superfície permanece íntegra ao longo do tempo	A superfície deteriora-se e deforma se prejudicando a segurança

Fonte: MESQUITA (2001)

É possível observar pela análise das tabelas que os pavimentos rígidos levam vantagem em função de fatores como:

- Custo inicial moderado;
- Desempenho com pouca manutenção;
- Economia na iluminação de vias públicas;
- É resistente a produtos químicos, óleos e graxas;
- Usa materiais locais, abundantes na Natureza;
- Rapidez na execução e equipamento simplificado;
- Melhor escoamento de água;
- Manutenção após 25 anos, entre outros.

Loturco (2005) destaca que entre as vantagens do pavimento de concreto tem-se, por exemplo, o controle tecnológico durante a execução e pelos cuidados com a cura. As máquinas trabalham numa velocidade de 1,2 m/min e o teste de slump é fundamental para controle do concreto, realizado através da coleta de corpos-de-prova que são ensaiados em relação à resistência mecânica à tração e à flexão, devendo atingir com consumo de cimento mínimo de 350 kg/m<sup>3</sup>, deve atingir 4,5 MPa em quatro dias.

De acordo com o autor, o uso de modernas vibroacabadoras de fôrmas deslizantes aumenta a segurança da execução e podem executar até 1,5 km/dia com larguras de até 16 m e 50 cm de espessura.

Para aumentar a produtividade, são executados trechos de até 600 m de extensão e só depois é que as juntas são cortadas. Com o concreto já semi-endurecido, entre 6 e 12 horas após o fim da concretagem, uma serra de disco corta as juntas transversais, que se aprofundam a apenas 1/3 da espessura do pavimento. Após 24 horas corta-se a junta longitudinal, a fim de tornar o pavimento estanque, as juntas são seladas, o que evita o acúmulo de sujeira e a livre movimentação dos elementos.

## 2.8 CUSTOS MÉDIOS GERENCIAIS - CMG

O Custo Médio Gerencial (CMG) estabelece custos estimativos, para uso em nível de planejamento, de empreendimentos em infraestrutura de transportes, para implantação, adequação, restauração, reconstrução, manutenção, sinalização, projetos, estudos de viabilidade, estudos ambientais, desapropriação, Obras de Arte Especiais – OAE, referentes às obras rodoviárias, bem como custos de empreendimentos do modal ferroviário. Os referidos custos são atualizados, bimestralmente, de acordo com a divulgação do último Sistema de Custos Rodoviários (SICRO-2) disponível. Os insumos asfálticos são atualizados pelos valores fornecidos pela Agência Nacional do Petróleo - ANP. A planilha divulgada refere-se ao Estado de Minas Gerais. (DNIT, 2018). Nesta planilha podemos observar a diferença do custo de implantação do pavimento asfáltico e do pavimento de concreto, descritos no anexo 4.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a elaboração desse trabalho consiste em um estudo de caso, pesquisas em sites, bibliografias, artigos acadêmicos normas técnicas (ABNT), dados estatísticos de diversos órgãos sobre uso de pavimentos flexíveis e rígidos além de verificações in loco na duplicação da Rodovia Federal 381, lote 8A, que se situa entre os municípios de Caeté até o entroncamento com a MG-020 (estrada para Jaboticatubas).

Assim o presente trabalho envolveu a realização de um estudo de caso através do Projeto Executivo de Engenharia para Duplicação, Implantação, Restauração e Melhoramentos na Rodovia BR-381/MG, disponibilizado pelo Portal DNIT, por meio do edital Regime Diferenciado de Contratações Públicas (RDC) – nº 654/2012-00, Anexo III, Projeto executivo (Lote:8A) e o levantamento dos valores do custo médio de implantação de cada pavimento por meio da planilha CMG - Custos Médios Gerenciais, do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, órgão vinculado ao Ministério dos Transportes, tendo como mês base para o SICRO-2 o mês de novembro de 2012.

A Figura 13 mostra o trecho analisado:

Figura 13 - Trecho da duplicação BR381



Fonte: FÉLIX (2015)

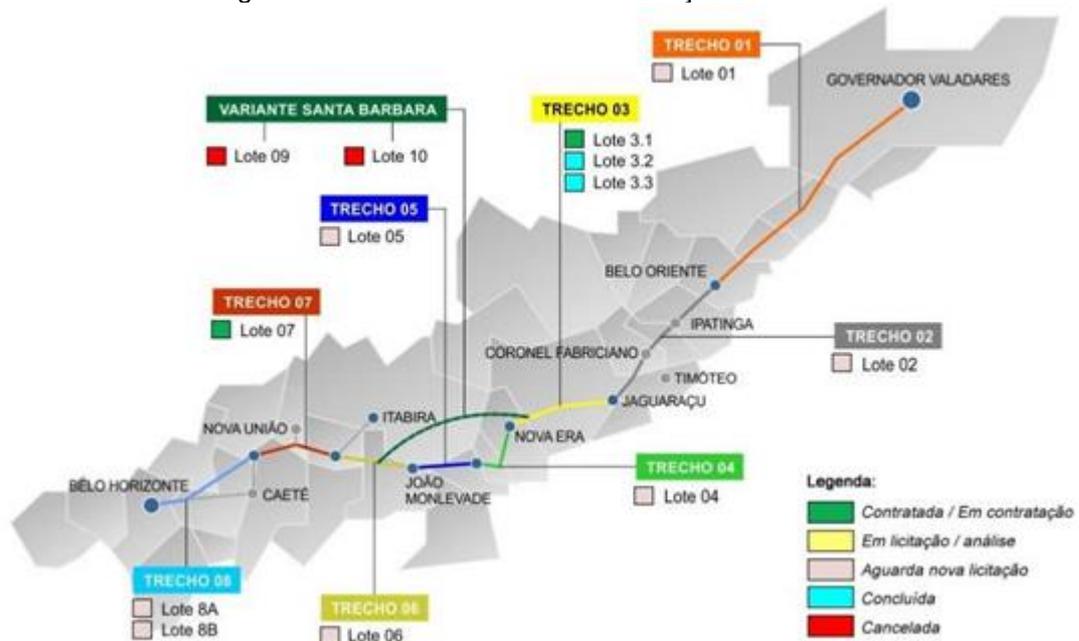
## 4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo são abordados os aspectos executivos, econômicos e técnicos da obra em questão, cujas características são:

- Rodovia: BR-381/MG
    - Trecho: Divisa. ES/MG – Divisa. MG/SP
    - Subtrecho: Entre. MG-435 (Caeté) até o entroncamento com a MG-020 (estrada para Jaboticatubas).
  - Segmento: km 427,0 ao km 458,4
  - Extensão: 31,4 km
  - Lote de projeto: 8
  - Lote de construção: 8A
  - Elaboração: Ecoplan Engenharia Ltda.
- Mês/Ano de elaboração do projeto: Outubro / 2012

A BR-381 é uma rodovia diagonal, de extrema importância econômica para o país, por ligar os estados brasileiros do Espírito Santo, Minas Gerais e São Paulo. Seu trajeto de duplicação inicia na cidade de Governador Valadares indo até a capital do estado, Belo Horizonte, conforme a Figura 14.

Figura 14 - Trechos e Lotes de Construção da BR-381



Fonte: DNIT (2012)

O Projeto executivo foi dividido em lotes, para os quais foram realizados pelo DNIT processos de licitação para contratação de empresas para a elaboração dos projetos executivos de engenharia.

O lote de construção selecionado para o estudo de caso foi o 8A, conforme a Figura 15, segmento do km 427,0 ao km 445, possuindo 18 km de extensão. Inicia-se em Caeté, até o entroncamento com a MG-020 (estrada para Jaboticatubas).

Figura 15 - Mapa de Situação da Rodovia



Fonte: DNIT (2012)

O projeto executivo de engenharia da rodovia engloba vários estudos e projetos, dentre eles: estudos de tráfego e capacidade, topográficos, hidrológicos, geológicos, traçado, geotécnicos, segurança de trânsito, ambientais, projetos de drenagem, terraplanagem, pavimentação, sinalização, dentre outros. Todos essenciais para o desenvolvimento do projeto, entretanto para efeito de análise da viabilidade de implantação do pavimento de concreto em relação ao asfáltico, esse estudo visa analisar a composição das camadas de pavimentação, demonstrando os resultados dos estudos de tráfego de veículos realizados, dos estudos geotécnicos e dos projetos de pavimentação do lote em questão.

#### 4.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

As características técnicas da rodovia BR 381 são apresentadas na tabela 8 :

Tabela 8 - Características técnicas da rodovia BR 381

Características Técnicas	
Classe da Rodovia	I
Região	Ondulada
Velocidade Diretriz	80km/h
Distância Mínima visibilidade de parada	110m
Distância Mínima visibilidade de ultrapassagem	560m
Raio Mínimo	230m
Rampa Máxima	7%
Nº das Faixas de Tráfego	2
Largura da Faixa de Rolamento	3,60m
Largura do Acostamento Externo	2,50m
Largura do Acostamento Interno	0,60m
Vida útil do projeto	10 anos

Fonte: DNIT (2012)

A rodovia apresenta, em todo segmento do lote 8A, 2 faixas de tráfego com largura de 3,60m, acostamento externo com 2,50m, uma velocidade diretriz de 80km/h e um projeto com vida útil de 10 anos.

#### 4.2 ESTUDOS DE TRÁFEGO

O estudo de tráfego realizado no segmento km 427,0 ao km 458,4, teve como objetivo detectar características e propriedades do fluxo de veículos no trecho, determinar os indicadores do nível de serventia, condições operacionais e funcionais, bem como elementos necessários ao projeto de pavimentação.

O Volume médio diário anual de tráfego – VDMAT, apresentado na Tabela 9, foi obtido a partir dos resultados obtidos com a caracterização do tráfego e com as pesquisas volumétricas classificatórias realizadas em 2 postos de contagem, sendo o Posto 1 localizado no km 6 + 160, afastado do perímetro urbano, e o Posto 2 localizado no km 22 + 000, no perímetro urbano com influência do tráfego local e demais usuários, foi possível determinar o Volume Médio Diário Anual de Tráfego – VDMAT, para os segmentos característicos.

Tabela 9 - Resumo VDMAT BR 381/MG

VEÍCULOS	Posto 1	Posto 2
Passeio	11.096	17.681
Carga	7.517	9.377
Ônibus	768	1.424
Total	19.381	28.482

Fonte: DNIT (2012)

Em relação á evolução do tráfego, foi definido como ano de abertura ao tráfego para a rodovia, o ano de 2014, estabelecendo um período de 10 anos de vida útil. Considerou-se uma taxa de crescimento geométrico de  $t=2,5\%$  ao ano, para toda a frota que opera na rodovia, ao longo do período de projeto.

#### Fatores de veículos

Fator este que transforma o tráfego real que solicita o pavimento durante o período de projeto, em um tráfego equivalente de eixos padrão (DNIT, 2006).

Os “Fatores de Veículos – FV” foram determinados pelos 2 (dois) métodos usuais de dimensionamento de pavimento reconhecidos pelo DNIT:

- a) Pavimentos Novos / Reconstrução: Método do “United States Army Corps Engineers” (USACE);
- b) Restauração / Reforço do Pavimento: Método do “American Association of State Highway and Transportation Officials” (AASHTO).

Na ausência de dados de pesagem de veículos comerciais, estimou-se que 70% dos caminhões trafegavam com a carga legal, 20% com 7,5% de excesso de carga (carga tolerada) e 10% trafegavam vazios ou com pouca carga.

Como ônibus transportam bem menos carga por eixo que os caminhões, assumiu-se que apenas 15% trafegam com a carga legal por eixo e os restantes 85% com 2/3 da carga legal.

Para caminhões leves 2C (16) assumiu-se que 100% trafegam com 2/3 da carga legal.

Em relação ao número de operações do eixo padrão de 8,2 t – Número N, o dimensionamento de um pavimento é feito em função do número equivalente de operações de um eixo tomado como padrão, tratado nos cálculos como N, durante o período de projeto escolhido. O valor de N representa o número de passadas do eixo padrão sobre o pavimento em um período estimado de anos de utilização (DNIT, 2006).

O cálculo utilizou parâmetros do fator de pista, igual a 0,4 para a rodovia de pista dupla, o volume de tráfego, determinado pela caracterização dos veículos e contagem volumétrica, e fator de veículos, esse determinado pelo método do United States Army Corps Engineers (USACE) reconhecido pelo DNIT, para pavimentos novos. Apresentando os valores N de cada posto de contagem de tráfego para os respectivos anos.

Para o cálculo do número "N" (Número de repetições do *eixo padrão* de 8,2 t), adotou-se a seguinte equação para o ano de contagem:  $N(09) = k \times 365 \times \sum Vi.FVi$ , onde:

- a) K= fator de pista, igual a 0,4 para a rodovia de pista dupla;
- b) Vi= volume de tráfego do tipo i;
- c) FVi= fator de veículos do tipo i.

O número N foi determinado para o ano da realização da contagem volumétrica dos veículos (2009).

O número N no ano de abertura (2014) será:  $N(14) = N(09) \times (1+t) = 1,035 \times N(09)$ . Para o cálculo do número acumulado dos números "N" anuais ao longo do período de projeto utiliza-se a expressão da soma dos termos de uma projeção geométrica com expoente t:  $N(14,24) = N(14) \times ((1 + t)^n - 1) / t$ , em que n=10 e t=0,03

Foi calculado para o ano de 2024 o valor de  $N = 1,50 \times 10^8$  para toda a extensão de projeto da pista da BR 381/MG.

### 4.3 ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Os estudos geotécnicos tiveram por objetivo a identificação e a determinação das características dos materiais constituintes do sub-leito, caracterização geotécnica das fontes de materiais (empréstimos, jazidas, areal e pedreira), caracterização geotécnica das camadas do pavimento existente, caracterização estrutural e funcional do pavimento existente.

Em todas as fases dos estudos geotécnicos a metodologia utilizada foi a estabelecida no Termo de Referência e nas Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários do DNIT – IS-206 – Estudos Geotécnicos.

A sondagem do subleito, ao longo da diretriz da pista nova da duplicação, foi feita nas áreas em corte e em aterros baixos, com furos espaçados de aproximadamente 100 m e profundidade de 1,5 m abaixo do greide de projeto do pavimento. As sondagens serviram também para fornecer subsídios para estudos de cortes, drenagem e pavimentação.

As amostras coletadas nos diferentes horizontes foram submetidas aos seguintes ensaios:

- a) Análise granulométrica por peneiramento simples e por sedimentação;
- b) Limite de Liquidez;
- c) Limite de Plasticidade;
- d) Compactação (Energia do Proctor Normal);
- e) Expansão;
- f) Índice de Suporte Califórnia -ISC;

Obs: Será mencionado somente o resultado do ISC.

Por definição, CBR expressa a relação entre a resistência à penetração de um cilindro padronizado numa amostra do solo compactado e a resistência do mesmo cilindro em uma pedra britada padronizada. O ensaio permite, também, obter um índice de expansão do solo durante o período de saturação por imersão do corpo-de-prova (96 horas) Equipe Laboratório (2007).

Para dimensionamento do pavimento definiu-se um Índice de Suporte Califórnia (ISC) = 6%. Deste modo, o material para camada superior dos aterros deve ser selecionado dentre aqueles que apresentam  $ISC \geq 6\%$  e expansão  $\leq 4\%$ .

No caso dos cortes, os materiais com características inferiores as indicadas devem ser removidas até as profundidades indicadas na tabela 10 e substituídas por materiais com as características mínimas indicadas.

Tabela 10 - Profundidade de remoção de materiais

<b>Material</b>	<b>Remoção</b>
ISC ≥ 2%	60cm
ISC = 3%	35cm
ISC = 4%	20cm
ISC = 5%	15cm

Fonte: DNIT (2012)

#### 4.4 PROJETOS DE PAVIMENTAÇÃO

O projeto de pavimentação da rodovia consistiu no dimensionamento do pavimento novo da pista duplicada e o projeto de restauração do pavimento existente, sendo apresentadas duas opções para o pavimento novo e duas para a restauração da pista existente, conforme a seguir:

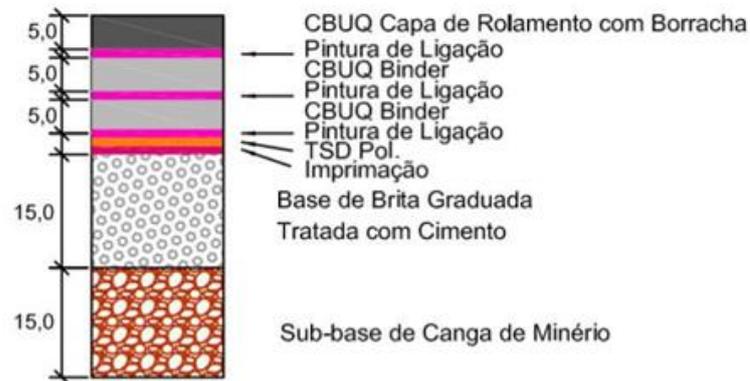
- a) Alternativa A: Restauração e pista nova em pavimento asfáltico.
- b) Alternativa B: Restauração e pista nova em pavimento rígido (placas de concreto).

Entretanto, serão analisados apenas os projetos do pavimento novo da pista duplicada, abordando as duas alternativas apresentadas: Pavimento Asfáltico e Pavimento Rígido (Placas de Concreto).

##### 4.4.1 Dimensionamento do pavimento asfáltico

O dimensionamento do pavimento asfáltico foi realizado pelo método da Resiliência, também conhecido como método TECNAPAV para um número  $N = 1,50 \times 10^8$ , ISC=6% e solo tipo II, apresentando os materiais constituintes das camadas e suas respectivas espessuras, conforme Figura 16. Para fins de consulta os cálculos são apresentados no anexo 1.

Figura 16 - Seção Transversal do Pavimento Flexível



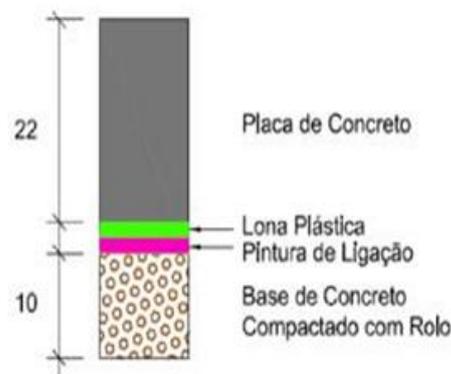
Fonte: DNIT (2012)

A camada betuminosa será executada em 3 camadas com espessura de 5 cm cada, sendo a superior de concreto betuminoso usinado à quente com asfalto modificado por borracha (CBUQ<sub>AB</sub>), e as outras duas de CBUQ<sub>Binder</sub>. A seguir foi especificada uma camada de tratamento superficial duplo com polímero, para evitar a reflexão das trincas de retração da base cimentada. A base é composta de 15 cm de brita graduada tratada com cimento e a sub-base de 15 cm de canga de minério.

#### 4.4.2 Dimensionamento do pavimento rígido

O dimensionamento do pavimento rígido foi efetuado de acordo com o método PCA/84 e Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT, apresentando os materiais constituintes das camadas e suas respectivas espessuras, conforme Figura 17. Para fins de consulta os cálculos são apresentados no Anexo 2.

Figura 17 - Seção Transversal da Pavimento Rígido



Fonte: DNIT (2012)

Acima de uma camada final de terraplenagem com ISC=6% será executada uma sub-base de 10 cm de Concreto Compactado com Rolo (CCR) e uma placa de

Concreto de Cimento Portland (CCP) com espessura de 22 cm para o trecho com 4 faixas, pertencente ao lote de construção 8A.

Os traços do CCP (Concreto Compactado com Rolo) e do CCR (Concreto de Cimento Portland) utilizados na duplicação da BR 381 seguem no anexo 3.

#### 4.5 CUSTOS MÉDIOS GERENCIAIS - CMG

O projeto da rodovia submetida ao estudo, foi elaborado no mês de outubro de 2012, desse modo, a planilha de Custo Médio Gerencial do DNIT selecionada para o levantamento de dados foi elaborada tendo como mês base do SICRO-2 (Sistema De Custo Rodoviário), o mês de novembro de 2012. Apresentando os valores médios de implantação por quilometro – R\$/KM, obtidos utilizando-se os Manuais de Soluções Técnicas Gerenciais - CGPLAN/COVIDE.

Tabela 11 - Planilha de custo médio gerencial - 2012

OBRA/SERVIÇO	INTERVALO R\$ / KM		MÉDIA R\$ / KM
	Lim. Inferior	Lim. Superior	
Pavimento Flexível IMPLANTAÇÃO/PAVIMENTAÇÃO (P. Simples) Faixa 3,6m e Acost. 2,5m	2.256.649,77	3.152.588,61	2.705.000,00
Pavimento Rígido IMPLANTAÇÃO/PAVIMENTAÇÃO (P. Simples) Faixa 3,6m e Acost. 2,5m	3.994.514,43	5.218.159,04	4.606.000,00

Fonte: DNIT (2012)

Para pavimentação flexível, os valores são apresentados para um limite inferior com revestimento em Tratamento Superficial Triplo - TST – Pista e Acostamento e limite superior com revestimento em CBUQ 10 cm – Pista e Acostamento.

Para os casos específicos de tráfego pesado, apresenta-se o pavimento rígido, sendo os valores apresentados para o limite inferior com revestimento em Placa de Concreto de Cimento Portland com espessura 18cm pista e 10 cm acostamento, e limite superior com revestimento em Placa de Concreto de Cimento Portland com espessura 24cm pista e 20 cm acostamento.

Pelo fato da planilha de custo médio utilizada ser referente ao ano de 2012, foi observado o índice de reajustamento de obras rodoviárias disponibilizado pelo DNIT, onde foi feita uma média com base nos índices dos anos de 2012 até o ano de 2017.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pavimentos asfálticos e os pavimentos de concreto são viáveis tecnicamente para implantação em rodovias (ARAUJO et al, 2016), porém ambos apresentam características comparativas distintas que devem ser levadas em consideração no processo de escolha de pavimentação.

Dentre as características se destaca a menor necessidade de manutenção do pavimento de concreto, que a longo prazo pode diluir o ônus do investimento inicial de sua implantação (LOTURCO, 2017).

Com base nos valores já obtidos no estudo de tráfego da rodovia BR-381/MG, submetida ao estudo de caso, é possível afirmar que a mesma apresenta um tráfego intenso e pesado de veículos.

Comparando as composições das camadas de cada alternativa de pavimentação proposta: Flexível e Rígida, obtidas através dos projetos de pavimentação é possível observar que a estrutura do pavimento rígido é mais simples em relação ao flexível, apresentando uma menor quantidade de camadas, enquanto o pavimento asfáltico apresenta uma camada de base e outra de revestimento, o pavimento de concreto apresenta as camadas de base e revestimento unidas em uma única, desempenhando as mesmas funções que as camadas de base na pavimentação asfáltica, o que pode tornar mais simples o processo de execução do projeto.

Utilizando a tabela de Custos Médios Gerenciais do DNIT- CMG do ano de 2017, foi possível identificar o custo médio de implantação de cada pavimento considerando para o pavimento flexível a construção de pista nova (2 faixas) mais restauração de pista existente e canteiro central o que resulta numa média de R\$ 2.705.000,00 por Km. Para tráfego pesado, como o do estudo de caso, o custo da Pavimentação Rígida apresenta um valor médio de R\$ 4.606.000,00 por Km, com solução c/ revestimento em Placa de Concreto de Cimento Portland com espessura - 18cm Pista e 10 cm. Os valores acima indicados podem ser observados no Anexo 04. É possível observar que a diferença de implantação entre os pavimentos é em média de R\$ 1.901.000,00 por Km. O índice de reajustamento de obras rodoviárias para o período de 2012 a 2017 é de 6%, variando em média R\$162.300,00 para implantação da pavimentação flexível e R\$276.360,00 para a pavimentação rígida nesse período.

## 6 CONCLUSÃO

O pavimento de concreto apresenta como principais vantagens sobre os pavimentos asfálticos a durabilidade e resistência, apresentando uma vida útil de mais de 20 anos com intervenções mínimas de manutenção, enquanto os asfálticos apresentam uma vida útil de aproximadamente 10 anos, podendo apresentar problemas estruturais com poucos anos de utilização. Característica interessante, visto que na maioria das vezes o Governo não faz a devida manutenção em rodovias sob sua responsabilidade. Entretanto, a pavimentação em concreto apresenta um custo de implantação mais elevado em relação aos asfálticos.

Conforme o estudo realizado pelo DNIT (2012) – projeto executivo BR 381: O custo de implantação do pavimento rígido foi 20,9% maior, porém, se forem considerados também os custos de conservação e manutenção durante 20 anos, o pavimento rígido se torna mais atrativo, pois os custos totais são 2,9% menores que a alternativa em pavimento asfáltico.

Como foi observado dentre as características citadas no trabalho o pavimento rígido possui uma vantagem maior em relação ao outro método em quase todos os fatores, dentre eles: Segurança, durabilidade, econômicos e de manutenção, concluímos através dos estudos e análises realizadas a opção mais viável para o trecho da rodovia em questão seria a aplicação do pavimento rígido.

Os resultados de resistência do concreto apresentados no Anexo 03 mostram que o pavimento rígido é um material indicado para regiões de tráfego intenso e pesado, como é o caso da rodovia em questão.

## 7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Terminologia e Classificação de pavimentação** – NBR 7207. Rio de Janeiro 1982.

ARAÚJO, Marcelo Almeida; SANTOS, Martha Jussara Paixão dos; PINHEIRO, Heunbner Pereira; ZORAIDE, Vieira Cruz. **Análise comparativa de métodos de pavimentação – Pavimento rígido (concreto) x flexível (asfalto)**. Bahia, Nov. 2016. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/metodos-de-pavimentacao>> Acesso em: 22 de junho. 2018.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de textos, 2007

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de concreto**. 1º Reimpressão. São Paulo Oficina de textos, 2012

BATALHÃO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO. **Obra BR 101**. Disponível em: [http://www.1bec.eb.mil.br/obras/br101/becnst1\\_obras\\_br101\\_diario.htm](http://www.1bec.eb.mil.br/obras/br101/becnst1_obras_br101_diario.htm) > Acesso em: 13 Set 2018.

BERNUCCI, et al. Pavimentação Asfáltica: uma alternativa para engenheiros. **Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto / Petrobrás asfaltos**. 2010.

BIANCHI, Flávia; BRITO, Isis; CASTRO, Verônica. **Estudo comparativo entre pavimento rígido e flexível**. Associação de Ensino Superior Unificado do Centro Leste, 2008.

BRASIL. Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. **Custos médios gerenciais**. Brasília, Distrito Federal, 2018. Disponível em: <[https://189.9.128.64/custos-e-pagamentos/copy\\_of\\_custo-medio-gerencial](https://189.9.128.64/custos-e-pagamentos/copy_of_custo-medio-gerencial)>. Acesso em: 15. Jul. 2018.

BRASIL. Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. **Índices de reajustamento de obras rodoviárias**. Brasília, Distrito Federal, 2018. Disponível em: <<https://189.9.128.64/custos-e-pagamentos/indices-de-reajustamentos-de-obras/indices-de-reajustamentos-de-obras-rodoviario/indices-de-reajustamentos-de-obras-rodoviaras>> Acesso em: 01. Jul. 2018.

BRASIL. Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. Diretoria De Planejamento E Pesquisa. Coordenação Geral De Estudos E Pesquisas. Instituto De Pesquisas Rodoviárias. **Manual de pavimentação**. 3 ed. Rio de Janeiro. 2006.

BRASIL. Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. **Regime diferenciado de contratações públicas: RDC–nº 654/2012-00, Anexo III, Projeto executivo (Lote:8A)**. Brasília, Distrito Federal, 2012. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/licitacoes/sede/projetos/editais-2012/regime-diferenciado-de-contratacoes-publicas-rdc-no-654-2012-00/regime-diferenciado-de-contratacoes-publicas-rdc-no-654-2012-00>>Acesso em: 05. Ago. 2018.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. **Custos médios gerenciais**. Brasília, Distrito Federal, 2012.

BRASIL. Ministério Dos Transportes. Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. Superintendência Regional No Estado De Minas Gerais. **Projeto Executivo de Engenharia para Duplicação, Implantação, Restauração e Melhoramentos na Rodovia BR-381/MG**. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2012.

CASTRO, Melissa. **Pavimento de concreto é alternativa para melhoria das rodovias**

Disponível em < <https://www.abcp.org.br/cms/imprensa/banco-de-pautas/pavimento-de-concreto-e-alternativa-para-melhoria-das-rodovias/>> Acesso em 2 jun. 2018.

CARVALHO, Marcos Dutra. **Pavimento de concreto: Reduzindo o custo social**. São Paulo, 2007.

CAVA, Felipe. **Pavimento rígido: solução para corredores de ônibus**. Disponível em <<https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/pavimento-rigido-para-corredores-de-onibus/>> Acesso em: 13 Maio 2018

CLAUDIA, Ana; JUNIOR, Ildeivan. **Análise comparativa entre sistemas de pavimentação rígida e flexível quanto a sua viabilidade técnica e econômica para aplicação em uma via urbana**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Tecnológica do Paraná. Pato Branco, Paraná, 2013.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **Glossário de termos técnicos rodoviários**. - 2. ed. – Rio de Janeiro, 2017. Disponível em:<[http://ipr.dnit.gov.br/noticias/novas-normasemconsultapublica/MinutaGlossrioTermosTcnicos\\_def.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/noticias/novas-normasemconsultapublica/MinutaGlossrioTermosTcnicos_def.pdf)>. Acesso em: 4 maio 2018.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE: **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/Manual%20de%20Pavimenta%E7%E3o\\_05.12.06.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual%20de%20Pavimenta%E7%E3o_05.12.06.pdf)>. Acesso em: 28 Set. 2018.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **NORMA DNIT 049/2004 - ES Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrma-deslizante – Especificação de serviço**, 15 p.

HERMES, Thiago. **Impacto do alto tráfego em pavimento dimensionado para baixo tráfego**. Disponível em < [http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/tccs/2013/TCC\\_Thiago%20Breunig%20Hermes.pdf](http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/tccs/2013/TCC_Thiago%20Breunig%20Hermes.pdf)> Acesso em 11 Set 2018.

LOTURCO, Bruno. **Pavimento Rígido**. Revista Techne, setembro/2005. Disponível em <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/102/artigo286026-1.aspx>> Acesso em 20 de Ago. 2018

MEAN, Angélica; ANANIAS, Renata; OLIVEIRA, Viviane. **Pavimentação rígida.** Projeto de Pesquisa (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade São Francisco. Itatiba, São Paulo, 2011.

MESQUITA, José Carlos Lobato. **Pavimento rígido como alternativa econômica para pavimentação rodoviária:** estudo de caso BR 262, Miranda–morro do azeite – MS. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, 2001.

MÜLLER, Ana Paula Soares; **Análise das condições do pavimento de concreto do corredor de ônibus da cidade de Santa Maria.** Santa Maria, Set. 2016. Disponível em <[http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2\\_2016/TCC\\_ANA%20PAULA%20SOARES%20MULLER\\_comprimido](http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2016/TCC_ANA%20PAULA%20SOARES%20MULLER_comprimido)> Acesso em 25 de junho de 2018

NORMA DNIT 031. **Pavimentos Flexíveis–Concreto Asfáltico–Especificação do serviço.** Espírito Santo, 2004.

NORMA DNIT 031. **Pavimentos Flexíveis–Concreto Asfáltico–Especificação do serviço.** Espírito Santo, 2006

O GLOBO. **Washington Luís inaugura a primeira rodovia asfaltada do país, a Rio-Petrópolis** Disponível em: < <https://acervo.oglobo.globo.com/rio-de-historias/washington-luis-inaugura-primeira-rodovia-asfaltada-do-pais-rio-petropolis-8849272>> Acesso em: 01. jun. 2018.

OSCAR, João; SILVA, José. **Pavimentação asfáltica.** Disponível em < <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/170/pavimentacao-asfaltica-escolha-do-material-e-espessura-das-camadas-285868-1.aspx>> Acesso em: 04. Set. 2018.

PIRES, Fátima, **Primeira rodovia pavimentada do Brasil.** Disponível em: < [http://www.rankbrasil.com.br/Recordes/Materias/06tv/Primeira\\_Rodovia\\_Pavimentada\\_Do\\_Brasil](http://www.rankbrasil.com.br/Recordes/Materias/06tv/Primeira_Rodovia_Pavimentada_Do_Brasil)> Acesso em: 03. jun. 2018.

RIBAS, Leandro. **Custo–benefício na execução de pavimentos rígidos.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tuiuti do Paraná. Curitiba, Paraná, 2017.

SENÇO, Wlastemiler de. **Manual de técnicas de pavimentação.** 2ª ed. São Paulo: Pini, 2007. v. 1.

## ANEXO 1

### Memorial de Cálculo do Dimensionamento do Pavimento Asfáltico

Foi realizado o dimensionamento do pavimento asfáltico pelo método TECNAPAV para um número  $N = 1,50 \times 10^8$ ,  $ISC = 6\%$  e solo tipo II.

Nessa situação, a deflexão de projeto é dada por:

$$D_p = 1406 / N^{0,188} = 14 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

A espessura equivalente em termos de material granular é dada por:

$$H_e = 77,67 \times N^{0,0482} \times ISC^{-0,598}$$

$$H_e = 66 \text{ cm}$$

De acordo com o método, a espessura mínima do revestimento para um solo tipo II é dada por:

$$H_{cb} = -5,737 + 807,961 / D_p + 0,972 = 15 \text{ cm}$$

Considerando para o CBUQ um valor estrutural = 2, temos:

$$H_{base} + H_{sub-base} = 66 - 2 \times 15 = 36 \text{ cm}$$

Adotou-se para a base 15 cm de brita graduada tratada com cimento e para sub-base 15 cm de canga de minério. Entre a base e o revestimento, deve ser executada uma camada de tratamento superficial duplo polimérico, para evitar a reflexão das trincas de retração da base cimentada. Neste caso, foram considerados os coeficientes de equivalência estrutural de 1,7 para a base cimentada e 1,0 para a sub-base granular.

## ANEXO 2

## Memorial de Cálculo do Dimensionamento do Pavimento Rígido

O dimensionamento do pavimento rígido para o trecho correspondente ao lote de construção 8A foi efetuado de acordo com o método PCA/84 e Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT, sendo apresentado na planilha abaixo.

Espessura de pavimento de concreto lote 8A com CCR						
Projeto:	BR-381/MG			Sim	Não	
Espessura:	22cm		Juntas com BT	x		
Resist. caract. à tr flx (MPa):	4,5		Acostamento de concreto	x		
Fator de seg. cargas, Fsc	1,3		Período de projeto	20	anos	
Subleito:ISC 6%	K = 42 MPa/m		Sub-base:	CCR	e = 10 cm	K = 130 MPa/m
Cálculo de eixos totais por classe de carga						
			Análise de Fadiga		Análise de Erosão	
Cargas	Cargas	Nº de	nº de	Consumo	nº de	Consumo
por eixo	por eixo	repetições	repetições	de	repetições	de
(tf)	x Fsc (tf)	previstas	admissíveis	fadiga (%)	admissíveis	fadiga
Eixos Simples			Tensão Eq.:	1,11	Fator Erosão:	2,22
			Fator fadiga:	0,246666667		
<5	6,5	30.486.152	ilimitado	0	ilimitado	0
6	7,8	50.114.721	ilimitado		ilimitado	
6,45	8,39	7.055.715	ilimitado		ilimitado	
6,67	8,67	19.467.380	ilimitado		ilimitado	
10	13	21.744.176	ilimitado		40000000	54,36%
10,75	13,98	3.119.874	ilimitado	0	9000000	34,67%
Eixos Tandem Duplos			Tensão Eq.:	0,93	Fator Erosão:	2,25
			Fator fadiga:	0,206666667		
11,33	16,9	13.959.840	ilimitado	0	ilimitado	0
17	22,1	38.607.318	ilimitado		100000000	5,61%
Eixos Tandem Triplos			Tensão Eq.:	0,76	Fator Erosão:	2,25
			Fator fadiga:	0,168888889		
< 24	10,4	6.078.348	ilimitado	0	ilimitado	0
25,5	11,05	20.915.550	ilimitado	0	ilimitado	0
27,42	11,88	3.238.761	ilimitado	0	ilimitado	0
			<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>TOTAL</b>	<b>94%</b>
Observações:						

## ANEXO 3

Os traços do CCP (Concreto Compactado com Rolo) e do CCR (Concreto de Cimento Portland) mais utilizados na duplicação da BR 381.



## Traço - Materiais cadastrados

**Numero:** \_\_\_\_\_

**Código:** CCP

**Tipo:** CONV

**Nome do Responsável pelo cadastro:** \_\_\_\_\_

**Valor A/C:** \_\_\_\_\_

**Tempo de mistura:** 30

**Classe:** CP III

**Resistência:** \_\_\_\_\_

**Consistência:** \_\_\_\_\_

**Granulometria:** BIB2

**Classe:** \_\_\_\_\_

**Materia Prima:** \_\_\_\_\_

**Sequência:** \_\_\_\_\_

**Valor em Kg:** \_\_\_\_\_

Classe:	Materia Prima:	Sequência:	Valor em Kg:
1	1-AR ART	4	236,0
2	2-AR NAT	2	551,0
3	3-BRITA 2	3	543,0
4	4-BRITA 1	1	543,0
			0,0

**Água / Gelo:** \_\_\_\_\_

Classe:	Materia Prima:	Sequência:	Valor em Kg:
1	1-1-ÁGUA LIMPA	1	175,0
			0,0
			0,0

Classe:	Materia Prima:	Sequência:	Valor em Kg:
3	3-CP III 40RS	1	350,0
			0,0
			0,0

**Cimento / Adc. Cimento:** \_\_\_\_\_

Classe:	Materia Prima:	Sequência:	Valor em Kg:
2	2-FK-160	1	0,00
			1,40
			0,00
			0,00
			0,00

**Aditivos:** \_\_\_\_\_



## Traço - Materiais cadastrados

Numero:	Resistência:	Valor A/C:
Código: CCR	Consistência:	Tempo de mistura: 15
Tipo: CONVENCIONAL	Granulometria: B2B1B0	Classe: CPIII

Nome do Responsável pelo cadastro:

Classe:	Materia Prima:	Sequência:	Valor em Kg:
1	1-AR ART	1	1.103,0
2	2-BRITA 0	3	327,0
3	3-BRITA 2	2	436,0
4	4-BRITA 1	4	327,0
			0,0

Agregados:

Classe:	Materia Prima:	Sequência:	Valor em Kg:
1	1-1-ÁGUA LIMPA	1	140,0
			0,0
			0,0

Água / Gelo:

Classe:	Materia Prima:	Sequência:	Valor em Kg:
1	1-CPIII 40 RS	1	105,0
			0,0
			0,0
			0,0
			0,0

Cimento / Adc.Cimento:

Classe:	Materia Prima:	Sequência:	Valor em Kg:
1	1-BASF -45	1	0,63
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00

Aditivos:

## ANEXO 4

## Custos médios gerenciais

<b>CUSTOS MÉDIOS GERENCIAIS</b>						
 <b>MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES</b> DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT SIA - QUADRA 2 LOTE "A" EDIF. NÚCLEO DOS TRANSPORTES - CEP 70040-902 - BRASÍLIA DF Coordenação-Geral de Planejamento e Programação de Investimentos - COPLAN / DPP /DNT			Data de Elaboração: 12/01/2018 Mês Base (SICRO 2): mai/17			
<b>MODAL RODOVIÁRIO</b>						
OBRA / SERVIÇO	INTERVALO		MÉDIA R\$ / Km	OBSERVAÇÕES		
	Lim.Inferior	Lim.Superior		Limite Inferior	Limite Superior	
<b>CONSTRUÇÃO</b>						
Valores obtidos utilizando-se os Manuais de Soluções Técnicas Gerenciais - COPLAN/COVIDE						
IMPLANTAÇÃO/PAVIMENTAÇÃO (P.Simples) Faixa 3,5m e Acost. 2,5m	2.559.663,49	3.993.533,63	3.177.000,00	Solução c/ revestimento em TSD - Plata e Acostamento.	Solução c/ revestimento em CBUQ 18cm-Plata e Acostamento.	
IMPLANTAÇÃO/PAVIMENTAÇÃO (P.Simples) Faixa 3,5m e Acost. 1,8m (até Classe II)	1.779.418,57	2.575.916,81	2.178.000,00	Solução c/ revestimento em TSD - Plata e Acostamento.	Solução c/ revestimento em CBUQ 8cm-Plata e Acostamento.	
ADEQUAÇÃO DE CAPACIDADE	CONSTRUÇÃO DE TERCEIRA FAIXA E RESTAURAÇÃO DA PISTA EXISTENTE	2.182.153,73	2.672.450,15	2.427.000,00	Solução 3a Faixa c/revet.CBUQ 10cm, recapamto na Plata Existente - CBUQ 3cm e no Acostamento - CBUQ 3cm	Solução 3a Faixa c/revet.CBUQ 10cm, recapamto da Plata Existente com CBUQ 8cm e no Acostamento CBUQ 4cm
	DUPLICAÇÃO C/ CONSTR. DE PISTA NOVA (2 Faixas) (RESTAURAÇÃO DE P. EXISTENTE+CANT.CENTRAL)	4.877.238,70	10.373.525,22	7.625.000,00	Solução Plata Nova c/revet.CBUQ 8 cm, recapam. Plata Existente CBUQ 3cm e Acostamento/ Alargamentos CBUQ 3cm.	Solução Plata Nova c/revet.CBUQ 16cm, recapamento da Plata Existente CBUQ 10cm e Acostamento/ Alargamentos CBUQ 10cm.
<b>MANUTENÇÃO</b>						
Valores obtidos utilizando-se os Manuais de Soluções Técnicas Gerenciais - COPLAN/COVIDE						
RESTAURAÇÃO	564.212,29	1.828.684,71	1.196.000,00	Solução c/ revestimento em CBUQ 3cm-Plata e TSD-Acostamento.	Solução c/ Fregagem 5cm (reposição CBUQ 5cm (100%)+ Recapamento CBUQ 5 cm-Plata e Acostamento.	
RECONSTRUÇÃO	1.796.933,02	2.879.726,49	2.338.000,00	Solução c/ revestimento em CBUQ 3cm-Plata e TSD-Acostamento.	Solução c/ revestimento em CBUQ 10cm-Plata e CBUQ 10cm-Acostamento.	
PROGRAMAS	RESTAURAÇÃO COMELHORAMENTOS	478.986,67	2.034.863,50	1.257.000,00	Valores obtidos na Coordenação Geral de Restauração - CGREST ( Mantidos os Valores base Novembro 2016 )	
	CREMA 1a ETAPA (previável)	121.955,39	494.487,67	308.000,00		
	CREMA 2a ETAPA (previável)	356.029,71	894.800,38	625.000,00		
<b>CONSERVAÇÃO</b>						
Km/ano						
CONSERVAÇÃO ROTINEIRA PISTA SIMPLES	21.396,06	81.740,79	51.600,00	Valores obtidos utilizando-se a mesma metodologia dos Manuais de Custos Médios Gerenciais. Neste caso específico, utilizou-se os custos das intervenções do Catálogo de Soluções p/ Conserva de uso dos EVTEAs acrescido de mais 40% p/ cobrir as intervenções de placa (selagem de fendas, tapa buracos, quebras de bordo, etc) p/ rodovias pavimentadas e de pontes de madeira p/ rodovias não pavimentadas - COPLAN/COVIDE		
CONSERVAÇÃO ROTINEIRA PISTA DUPLA	37.321,20	151.243,95	94.300,00			
CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIO NÃO PAVIMENTADA	52.428,50	113.708,26	83.100,00			
<b>OBSERVAÇÕES:</b>						
1) P/ os casos específicos de TRÁFEGO PESADO, considerou-se as soluções:						
PAVIMENTO INVERTIDO - IMPLANTAÇÃO / PAVIMENTAÇÃO (Plata Simples)	R\$ 3.740.908,80	R\$ 5.417.870,82	4.581.000,00	Solução c/ revest. CBUQ 12cm-Plata e CBUQ 7cm-Acost.(PAV.INVERTIDO)	Solução c/ revest. CBUQ 18cm-Plata e Acost.(PAV.INVERTIDO), 17cm-BGTC)	
PAVIMENTO RÍGIDO - IMPLANTAÇÃO / PAVIMENTAÇÃO (Plata Simples)	R\$ 4.436.981,11	R\$ 6.570.259,83	5.504.000,00	Solução c/ revest. em Placa de Concreto de Cimento Portland c/ espessura - 18cm Plata e 10 cm Acost.	Solução c/ revest. em Placa de Concreto de Cimento Portland c/ espessura - 24 cm Plata e 20 cm Acostamento	
2) Evidenciamos que os valores obtidos com a utilização dos Manuais de Soluções Técnicas, representam médias nacionais e podem variar de acordo com a abundância de materiais de construção, logística, fatores climáticos, sofisticação do projeto, etc.						
<b>BINALIZAÇÃO</b>						
HORIZONTAL-emulsionada em solvente (1 ANO-0,4mm)	8.055,00	8.100,00	17,90 / m²	Valores médios obtidos de tabela SICRO 2 e dos contratos vigentes de sinalização - Coordenação Geral de Operações Rodoviárias - Área Técnica - Segurança ( Mantidos os Valores base Novembro 2016 )		
HORIZONTAL-emulsionada em água (2 ANOS-0,5mm)	10.728,00	10.700,00	23,84 / m²			
HORIZONTAL-emulsionada em solvente(2 ANOS-0,8mm)	13.032,00	13.000,00	28,96 / m²			
HORIZONTAL - material TERMOPLAST-HotSpray	22.932,00	22.900,00	50,96 / m²			
VERTICAL	7.472,94	7.500,00	747,29 / m²			
<b>PROJETOS</b>						
RESTAURAÇÃO	29.334,42	36.655,53	33.000,00			
IMPLANTAÇÃO/PAVIMENTAÇÃO	36.655,53	43.986,94	40.300,00	Mantidos os valores constantes da planilha anterior até que a Coordenação Geral de Estudos e Projetos-CGDESP realize novo levantamento para compor cartilha de projetos aprovados. ( Mantidos os Valores base Novembro 2016 )		
MELHORAMENTOS EM RODOVIAS PARA ADEQUAÇÃO DA CAPACIDADE E SEGURANÇA	73.311,05	109.966,59	91.600,00			
DUPLICAÇÃO	109.966,59	131.959,90	121.000,00			
<b>EVTEA</b>						
Estudos de Viabilidade Técnica,Econômica e Ambiental (MODAL-Rodoviário)	2.800,00	6.500,00	4.700,00	Observações: 1) Valores para trechos superiores a 100Km. 2)Em Trechos Urbanos, esses valores médios podem ser substancialmente maiores, dependendo da quantidade de intervenções a serem estudadas dentro de trechos.3) De maneira geral para trechos inferiores a 100Km, quanto maior a extensão, o valor/km será consideravelmente mais elevado. A medida que aumenta o segmento de estudo, reduz-se o custo por km.4) Valores obtidos na Coordenação de Avaliação de Viabilidade e Desempenho COVIDE/COPLAN		