

**Análise comparativa da implementação de concreto betuminoso
usinado a quente e tratamento superficial duplo em bairros de
papagaios – MG**

**Comparative analysis of the implementation of hot mix asphalt
concrete and double surface treatment in neighborhoods of papagaios -
MG**

DOI:10.34117/bjdv7n9-408

Recebimento dos originais: 07/08/2021

Aceitação para publicação: 01/09/2021

Heron Viterbre Debique Sousa

Graduando em Engenharia Civil, Universidade de Itaúna - Rodovia
MG 431 Km 45, s/n, Itaúna - MG, 35680-142
E-mail: heronviterbre@gmail.com

Ícaro Viterbre Debique Sousa

Doutorando em Estatística e Experimentação Agropecuária, Departamento de
Estatística, Universidade Federal de Lavras - Aqueanta Sol, Lavras - MG, 37200-900
E-mail: viterbre@gmail.com

Antonio Mendes Magalhães Júnior

Doutorando em Estatística e Experimentação Agropecuária, Departamento de
Estatística, Universidade Federal de Lavras - Aqueanta Sol, Lavras - MG, 37200-900
E-mail: amendesmj@gmail.com

Pedro Henrique Nunes

Mestrando em Engenharia de Sistemas e Automação, Departamento de Engenharia de
Sistemas e Automação, Universidade Federal de Lavras - Aqueanta Sol, Lavras - MG,
37200-900
E-mail: phnunes95@gmail.com

Alessandro Leonardo da Silva

Docente na Universidade Estadual de Minas Gerais, Campus Divinópolis - Av. Paraná,
3001 - Jardim Belvedere I, Divinópolis - MG, 35501-170
E-mail: alessandro.silva@uemg.br

Marcelo Robert Fonseca Gontijo

Docente na Universidade Estadual de Minas Gerais, Campus Divinópolis - Av. Paraná,
3001 - Jardim Belvedere I, Divinópolis - MG, 35501-170
E-mail: marcelo.gontijo@uemg.br

Thais Prado Vasconcelos Silva

Docente na Universidade Estadual de Minas Gerais, Campus Divinópolis - Av. Paraná,
3001 - Jardim Belvedere I, Divinópolis - MG, 35501-170
E-mail: thais.silva@uemg.br

Ivana Prado de Vasconcelos

Docente na Universidade Estadual de Minas Gerais, Campus Divinópolis - Av. Paraná,
3001 - Jardim Belvedere I, Divinópolis - MG, 35501-170
E-mail: ivana.vasconcelos@uemg.br

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre pavimentação asfáltica na cidade de Papagaios - MG, onde constatou-se, por intermédio do mapa do território urbano e de visitas aos bairros existentes, que ainda existe um grande número de ruas sem pavimentação. Após análise, foi elaborado um comparativo da viabilidade de aplicação de 02 (dois) revestimentos asfálticos, o concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) e o tratamento superficial duplo (TSD).

Palavras-chave: Revestimento, concreto betuminoso, tratamento superficial.

ABSTRACT

This paper presents a study on asphalt paving in the city of Papagaios - MG, where it was found, through the map of the urban territory and visits to existing neighborhoods, that there is still a large number of streets without paving. After analysis, a comparison was made of the feasibility of applying 02 (two) asphalt coatings, the hot-machined bituminous concrete (CBUQ) and the double surface treatment (TSD).

Keywords: Coating, bituminous concrete, surface treatment.

1 INTRODUÇÃO

A pavimentação consiste na ideia principal de revestir um piso ou chão com uma cobertura. Em aplicações na engenharia, a pavimentação trata-se de uma base horizontal composta por uma ou mais camadas sobrepostas, elevando sua durabilidade e facilitando o fluxo de veículos e pessoas.

O pavimento possui uma estrutura básica de camadas que se denominam: subleito, regularização do subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento (NBR 7207/82).

O subleito é o terreno de fundação onde será apoiado todo o pavimento. Deve ser considerado e estudado até as profundidades em que atuam significativamente as cargas impostas pelo tráfego (de 0,6 m a 1,50 m de profundidade) (Marques et al., 2010).

A regularização do subleito são operações de corte ou aterro para conformar transversal e longitudinalmente o leito da plataforma da via, englobando pista e acostamento com movimentos de terra. Esta camada deverá ter no máximo 20cm de espessura após compactação (DNIT 137/2010).

O reforço do subleito é uma camada estabilizada granulometricamente, com espessura variável, definida de acordo com o dimensionamento do pavimento, cuja finalidade é melhorar a capacidade de suporte de carga do subleito (DNIT 138/2010).

A sub-base é analisada como uma camada granular de pavimentação, complementar à base e com as mesmas funções desta, executada sobre o subleito ou reforço do subleito, devidamente compactado e regularizado (DNIT 139/2010).

A apresenta que a base é uma camada de pavimentação que tem por função aliviar a tensão nas camadas inferiores e resistir aos esforços verticais oriundos dos veículos, distribuindo-os adequadamente à camada subjacente, executada sobre a sub-base, subleito ou reforço do subleito devidamente regularizado e compactado (DNIT 141/2010).

O pavimento consiste em camadas básicas e, de acordo com a disposição destas, pode ser classificado em pavimentos flexíveis, rígidos, semirrígidos e invertidos.

De interesse deste estudo, os pavimentos flexíveis são aqueles em que a absorção de esforços se dá de forma dividida entre várias camadas, encontrando-se as tensões verticais em camadas inferiores, concentradas em região próxima da área de aplicação de carga. Podem ser aplicados como tratamentos da superfície do pavimento, tais como tratamento superficial simples (TSS), tratamentos superficiais duplos (TSD) ou tratamentos superficiais triplos (TST), utilizados geralmente em estradas de volume de tráfego mais baixo, ou camadas de misturas asfálticas, geralmente concretos betuminosos usinados a quente (CBUQ) em vias de volume mais elevado.

Em obras de pavimentação, o material mais nobre e resistente utilizado na estrutura é o revestimento, camada esta que receberá diversas cargas aplicadas que causam esforços no pavimento e que serão transmitidas para a fundação, além de proteger contra intempéries (conjunto de processos e fenômenos que levam à desintegração das rochas).

Assim sendo, o CBUQ é visto como a mistura asfáltica a quente mais tradicional e comum utilizada na construção dos revestimentos de pavimentos do país, sendo útil também para camada de ligação e capa de rolamento (Balbo, 2007).

O CBUQ, o qual se dará ênfase neste trabalho, é o produto resultante do processamento à quente em usinas apropriadas. A mistura homogênea é composta por agregados graduados e inertes, como por exemplo, britas, pó-de-pedra e fíler, que somam aproximadamente 95% da mistura.

A função dos agregados é dar resistência mecânica e estabilidade. O Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) soma os outros 5%, e é usado como material ligante. Sua função é possibilitar a aglutinação, além da flexibilidade, impermeabilidade e durabilidade do concreto. Na usina, tanto o agregado como o ligante são previamente aquecidos para depois serem misturados. Pode ser empregado como revestimento asfáltico em uma só camada (capa), revestimento em duas camadas e como camada de nivelamento ou reperfilagem.

O CBUQ pode ser obtido a partir da produção em dois tipos de usinas diferentes: volumétrica ou gravimétrica. Nas usinas gravimétricas a produção da massa é processada de forma unitária, além disso, nos diversos componentes da mistura, ou a maioria deles, são proporcionados no estágio final, em bases ponderais. Nas usinas volumétricas a mistura é obtida de forma constante, e nelas a dosagem dos componentes em todos os estágios se desenvolve volumetricamente (Prado, 1961).

Os equipamentos necessários para a execução dos serviços serão adequados ao local da instalação, porém devem ser utilizados no mínimo os seguintes equipamentos: depósito para ligante asfáltico, silos para agregados, usina para misturas asfálticas, caminhões basculantes, pavimentadoras automotrizes (com a finalidade de espalhar e conformar a mistura no alinhamento, cotas e abaulamento constantes no projeto) e equipamento para compactação (representado por rolo pneumático, com dispositivo destinado a calibrar a variação da pressão dos pneus de 2,5 kgf/cm² a 8,4 kgf/cm² (DNIT 031/2004)).

No que se refere ao tratamento superficial, trata de um revestimento flexível de pequena espessura, executado por espalhamento sucessivo de ligante betuminoso e agregado, em operação simples ou múltiplas em comboio de forma quase simultânea. Consiste em aplicação de ligantes asfálticos e agregados sem mistura prévia, na pista, com posterior compactação que promove o recobrimento parcial e a adesão entre agregados e ligantes.

O tratamento superficial é particularmente indicado nos seguintes casos: revestimento para pavimentos novos de tráfego leve a médio, pois que, por ser uma capa de alta flexibilidade, o tratamento é empregado extensivamente em pavimentos recém-construídos quando a infraestrutura do pavimento ainda está em fase de consolidação; revestimento de acostamentos; tratamento antiderrapante de superfícies lisas, inclusive pavimentos de concreto ou paralelepípedos; conservação de revestimentos betuminosos desgastados e envelhecidos; selagem de revestimentos betuminosos abertos e outros.

As principais funções do tratamento superficial são: proporcionar uma camada de rolamento de pequena espessura, porém, de alta resistência ao desgaste; impermeabilizar o pavimento e proteger a infraestrutura do pavimento; base granular ou solo estabilizado com ou sem aditivo estabilizante; e proporcionar um revestimento de alta flexibilidade que possa acompanhar deformações relativamente grandes da infraestrutura.

Classificam-se os tratamentos superficiais em: tratamento superficial simples (TSS); tratamento superficial duplo (TSD); tratamento superficial triplo (TST) (Teixeira, 2012). O tratamento superficial simples (TSS) é a camada de revestimento constituída de uma aplicação de ligante betuminoso coberta por uma camada de agregado. Já o tratamento superficial duplo (TSD) é a camada de revestimento, constituída por duas aplicações sucessivas de ligante betuminoso, cobertas, cada uma, por camada de agregado. No que corresponde ao tratamento superficial triplo (TST) é a camada de revestimento constituída por três aplicações sucessivas de ligante betuminoso, cobertas cada uma por camada de agregado.

Ademais, para o dimensionamento de um pavimento, 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 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.

Um dos fatores que influenciam no dimensionamento dos pavimentos flexíveis é o tráfego. O dano causado pela passagem de cada veículo é, usualmente, de pequena magnitude, mas, o efeito danoso se acumula e é o que determina a resistência de vida à fadiga dos pavimentos.

O surgimento de novos bairros gera a necessidade de se ter uma infraestrutura adequada no local, neste caso, se dará ênfase à pavimentação. Na cidade de Papagaios - MG, existem ainda 6 (seis) bairros onde se pode ver ruas sem a existência de pavimento. A área total de ruas sem pavimento é de 108.121,30m². No período de 2005 a 2016, houve um crescimento na quantidade de veículos na cidade. A partir dos dados coletados no site do IBGE, pôde-se relacionar os valores de crescimento anuais com uma previsão de crescimento de tráfego para os próximos dez anos. Para a estimativa do aumento de veículos, a média de aumento computado foi o de 9% ao ano.

O objetivo deste trabalho é elaborar um comparativo de revestimentos asfálticos, a fim de demonstrar qual método tem o melhor custo benefício, considerando sua utilização na pavimentação das ruas do município de Papagaios - MG.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho, para a realização do dimensionamento do pavimento, teve-se como base o método de dimensionamento utilizado pelo DNIT denominado como “Método de projeto de pavimentos flexíveis”, com sua 3ª edição em 1981, elabora pelo Engenheiro Murillo Lopes de Souza.

Neste método de dimensionamento, para efeito de projeto, o tráfego que transitará sobre determinado pavimento ao longo de sua vida útil de serviço é convertido em um número de operações/solicitações de um eixo rodoviário padrão. Este número de solicitações é conhecido como número “N”, baseado na tabela disponibilizada pela Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP, 2012).

Quadro 1. Classificação do tráfego de acordo com método SUDECAP.

Tipo de via	Tráfego previsto	Veículo Pesado	N
V-1	Muito Leve	3 a 20	1×10^3 a 3×10^4
V-2	Leve	21 a 100	4×10^4 a 3×10^5
V-3	Médio	101 a 500	4×10^5 a 3×10^6
V-4	Médio Pesado	501 a 1000	4×10^6 a 1×10^7
V-5	Pesado	101 a 1999	2×10^7 a 3×10^7
V-6	Muito Pesado	Acima de 2000	4×10^7 a 2×10^8

Para determinar os valores intermediários do número “N”, podem ser utilizados métodos numéricos, denominados interpolação, que servem como ferramenta para a obtenção de uma aproximação para uma função que descreve um conjunto de dados.

A interpolação de Lagrange utiliza classe dos polinômios para aproximar outras funções. Definida por Joseph Louis Lagrange, a função a ser aproximada deve se ter a garantia de ser contínua no intervalo analisado.

Para o sistema adotado neste trabalho, admite-se o conhecimento de dois pontos de um determinado intervalo, sendo assim a interpolação em uma função de primeiro grau, caracteriza-se em uma função contínua no intervalo conhecido.

Define-se genericamente polinômio de Lagrange como:

$$P_k = \prod_{1 \leq j \neq k \leq n} \frac{x - x_j}{x_k - x_j} \quad (1)$$

Para dimensionar um pavimento precisa-se de algumas informações importantes sobre o solo, uma delas é sobre o quanto de carga sua estrutura suporta, informação que pode ser recolhida mediante o índice de Suporte Califórnia (ISC) ou CBR. De acordo com o resultado do ensaio de CBR, se o solo for de baixa resistência necessita-se de uma maior área para se dissipar a carga transmitida pelos veículos, e, pelo contrário, se o solo for de alta resistência, é preciso de uma área menor.

Dispondo do índice suporte (IS), do subleito, do reforço do subleito e da sub-base, pode-se obter, através do ábaco de dimensionamento, em primeira aproximação, as espessuras necessárias, respectivamente, dessas camadas.

A simbologia a ser adotada é:

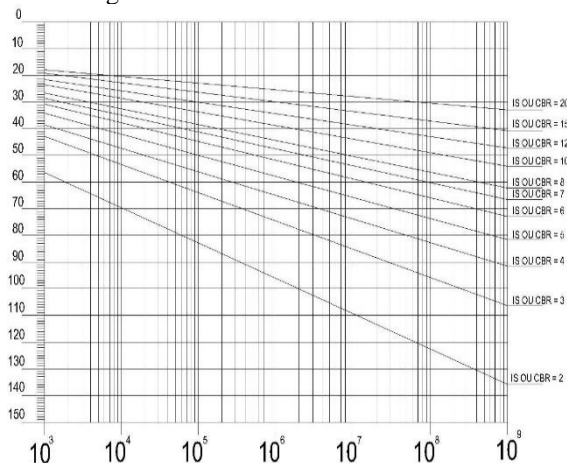
Subleito: IS = Hm;

Reforço do subleito: IS = Hn;

Sub-base: IS = H20.

O ábaco (Figura 1) dará as espessuras necessárias das camadas de subleito, reforço do subleito e sub-base, sem levar em conta a qualidade dos materiais que irá compor o pavimento. Admite-se que todos os materiais das camadas são iguais quanto ao comportamento estrutural, correspondente a um coeficiente de equivalência $K = 1$, a ser definido a seguir. Então se tem:

Figura 1. Ábaco de dimensionamento.



O Coeficiente de Equivalência Estrutural (k) é uma relação da capacidade de carga estrutural direcionada a cada material que será utilizado nas camadas do pavimento.

Trata-se de um valor empírico definido como a relação entre as espessuras de uma base granular e de uma camada de material considerado, que apresente desempenho semelhante, ou seja, considera-se que uma camada de 10 cm de um material com coeficiente de equivalência estrutural igual a 1,5 apresenta comportamento igual ao de uma camada de 15cm de base granular.

A seguir contém um quadro que descreve o coeficiente de equivalência (k) de cada tipo de material que poderá ser utilizado no pavimento.

Quadro 2. Valores de coeficiente de equivalência estrutural (K).

COEFICIENTE DE EQUIVALÊNCIA ESTRUTURAL (k)		
Material de Camada	Material Típico	Valor de k
Base ou revestimento de concreto betuminoso	CBUQ	2,00
Base ou revestimento de pré-misturado a quente, de graduação densa	PMQ	1,70
Base ou revestimento de pré-misturado a frio, de graduação densa	PMF	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	PMAF - TSS - TSD - TST	1,20
Camadas granulares	- BC -SB	1,00
Sub-base granular	-	0,77 / 1,00
Reforço do subleito	-	0,77 / 1,00
Solo cimento, resistência aos 7 dias > 45 kg/cm ²	BCTC - SC	1,70
Solo cimento, resistência aos 7 dias entre 28 e 45 kg/cm ²	SC	1,40
Solo cimento, resistência aos 7 dias entre 21 e 28 kg/cm ²	SMC	1,20
Solo cal	-	1,20

As espessuras de base (B), sub-base (H20) e reforço de subleito (Hn), são obtidas através da solução sucessiva das seguintes inequações:

$$R \cdot Kr + B \cdot Kb \geq H20$$

$$R \cdot Kr + B \cdot Kb + SUB \cdot Ksub \geq Hn$$

$$R \cdot Kr + B \cdot Kb + SUB \cdot Ksub + REF \cdot Kref \geq Hm$$

Em Papagaios - MG, cada bairro apresenta sua característica particular na quantidade de veículos que ali circulam, sendo assim, foi realizada uma visita em cada um para a contagem de veículos que transitam no local diariamente.

Para o dimensionamento do pavimento, na metodologia utilizada pelo DNIT, consideram-se apenas os veículos pesados, ônibus e caminhões, como sendo os únicos existentes na corrente de tráfego.

Para fins deste trabalho, foi utilizado o agregado Brita Graduada Simples (BGS) e coeficiente para base, sub-base e reforço $k=1$.

Para o cálculo das espessuras utilizando o ábaco, considerou-se o índice de suporte (IS ou CBR) do material do reforço do subleito igual a 12, e o IS do material do subleito igual a 8. Através desses valores, encontra-se no ábaco a espessura de H_n e H_m , respectivamente. Para se encontrar a espessura de H_{20} , o IS considerado é igual a 20.

A espessura mínima de qualquer camada de sub-base deve ser de 10 cm, após a compactação, portanto, $SUB \geq 10$ cm (DNIT 139/2010).

Para ser denominado reforço do subleito, a espessura mínima deve ser 10cm após a compactação, portanto, de acordo com o valor calculado, considera-se a camada como regularização e tratamento do subleito, e o valor do reforço da sub-base, é somado à camada superior que é a sub-base (DNIT 138/2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

DIMENSIONAMENTO PARA O BAIRRO VASCO LOPES

Para o dimensionamento do pavimento no bairro Vasco Lopes, realizou-se uma contagem no local nos dias 04 e 11 de Setembro de 2017, no horário de 07h às 19h, onde constatou-se que, em média, transitam 6 (seis) veículos pesados. Após 08 anos, o tráfego previsto de veículos pesados será de aproximadamente 12 veículos/dia, considerando o aumento estimado de 9%.

Utilizando o quadro 1, classifica-se a via como V-1 e o tráfego previsto como MUITO LEVE, sendo assim, de acordo com a SUDECAP sua expectativa de vida útil é de 08 anos.

Tendo como resultado do número "N" o valor de $1,64 \cdot 10^4$, as espessuras de revestimento adotadas, tanto para CBUQ quanto para TSD, serão de 2,5 cm, a partir de tratamento superficial betuminoso.

Quanto aos valores do ábaco, foram encontrados os seguintes:

Com IS = 20 $\rightarrow H_{20} \cong 21$ cm C

Com IS = 12 -> $H_n \cong 27\text{cm}$

Com IS = 8 -> $H_m \cong 34\text{cm}$

a) Dimensionamento utilizando concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ)

Cálculo das espessuras da camada do pavimento

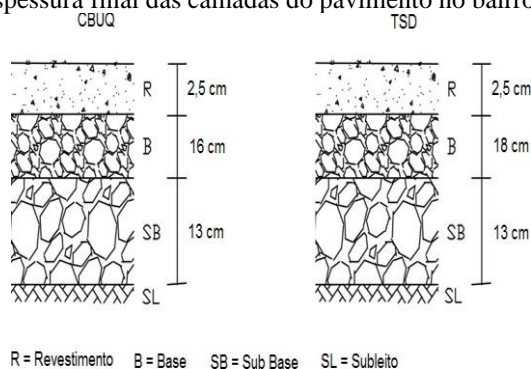
- Camada de base: $B \geq 16\text{cm}$
- Camada de sub-base: $SUB \geq 6\text{cm}$
- Camada de reforço de subleito: $REF \geq 3\text{cm}$

b) Dimensionamento utilizando tratamento superficial duplo (TSD)

Cálculo das espessuras da camada do pavimento

- Camada de base: $B \geq 18\text{cm}$
- Camada de sub-base: $SUB \geq 6\text{cm}$
- Camada de reforço do subleito: $REF \geq 3\text{cm}$

Imagem 2. Espessura final das camadas do pavimento no bairro Vasco Lopes.



DIMENSIONAMENTO PARA O BAIRRO JAIR CORDEIRO

Para o dimensionamento do pavimento no bairro Jair Cordeiro realizou-se uma contagem no local nos dias 18 e 25 de Setembro de 2017, no horário de 07h às 19h, onde constatou-se que, em média, transitam 4 (quatro) veículos pesados. Após 08 anos, o tráfego previsto de veículos pesados será de aproximadamente 08 veículos/dia.

Utilizando o quadro 1, classifica-se a via como V-1 e o tráfego previsto como MUITO LEVE, sendo assim, de acordo com a SUDECAP sua expectativa de vida útil é de 08 anos.

Tendo como resultado do número “N” o valor de $9,53 \cdot 10^3$, as espessuras de revestimento adotadas, tanto para CBUQ quanto para TSD, serão de 2,5cm.

Quanto aos valores do ábaco, foram encontrados os seguintes:

$H_{20} \cong 21\text{ cm}$

$H_n \cong 26$ cm

$H_m \cong 33$ cm

a) Dimensionamento utilizando concreto usinado a quente (CBUQ)

Cálculo das espessuras da camada do pavimento

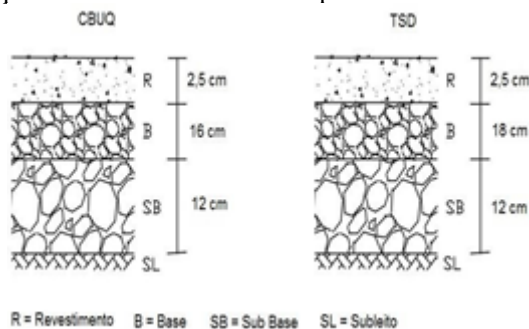
- Camada de base: $B \geq 16$ cm
- Camada de sub-base: $SUB \geq 5$ cm
- Camada de reforço do subleito: $REF \geq 2$ cm

b) Dimensionamento utilizando tratamento superficial duplo (TSD)

Cálculo das espessuras da camada do pavimento

- Camada de base: $B \geq 18$ cm
- Camada de sub-base: $SUB \geq 5$ cm
- Camada de reforço do subleito: $REF \geq 2$ cm

Imagem 3. Espessura final das camadas do pavimento no bairro Jair Cordeiro.



DIMENSIONAMENTO PARA O BAIRRO BELA VISTA

Para o dimensionamento do pavimento no bairro Bela Vista realizou-se uma contagem no local nos dias 02 e 09 de Outubro de 2017, no horário de 07h às 19h, onde constatou-se que, em média, transitam 5 (cinco) veículos pesados. A quantidade de veículos previsto após 8 anos, no bairro Bela Vista, com uma taxa de aumento de 9% ao ano, é o de 10 veículos/dia.

Utilizando o quadro 1, classifica-se a via como V-1 e o tráfego previsto como MUITO LEVE, sendo assim, de acordo com a SUDECAP sua expectativa de vida útil é de 08 anos.

Tendo como resultado do número “N” o valor de $1,29 \cdot 10^4$, as espessuras de revestimento adotadas, tanto para CBUQ quanto para TSD, serão de 2,5 cm.

Quanto aos valores do ábaco, foram encontrados os seguintes:

$H_{20} \cong 21$ cm

$H_n \cong 27$ cm

$H_m \cong 34$ cm

a) Dimensionamento utilizando concreto usinado a quente (CBUQ)

Cálculo das espessuras da camada do pavimento

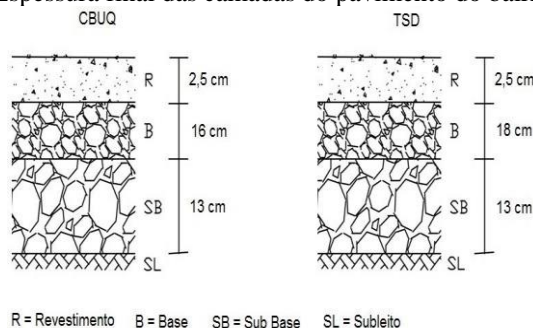
- Camada de base: $B \geq 16$ cm
- Camada de sub-base: $SUB \geq 6$ cm
- Camada de reforço do subleito: $REF \geq 3$ cm

b) Dimensionamento utilizando tratamento superficial duplo (TSD)

Cálculo das espessuras da camada do pavimento

- Camada de base $B \geq 18$ cm
- Camada de sub-base: $SUB \geq 6$ cm
- Camada de reforço do subleito: $REF \geq 3$ cm

Imagem 4. Espessura final das camadas do pavimento do bairro Bela Vista.



DIMENSIONAMENTO PARA O BAIRRO EDITH CORDEIRO

Para o dimensionamento do pavimento no bairro Edith Cordeiro realizou-se uma contagem no local nos dias 10 e 11 de Outubro de 2017, no horário de 07h às 19h, onde constatou-se que, em média, transitam 32 (trinta e dois) veículos pesados. A quantidade de veículos previsto após 8 anos com uma taxa de aumento de 9% ao ano é de 64 veículos/dia.

Utilizando o quadro 1, classifica-se a via como V-2 e o tráfego previsto como LEVE, sendo assim, de acordo com a SUDECAP sua expectativa de vida útil será de 08 anos.

Tendo como resultado do número “N” o valor de $1,82 \cdot 10^5$, as espessuras de revestimento adotadas, tanto para CBUQ quanto para TSD, serão de 2,5 cm.

Quanto aos valores do ábaco, foram encontrados os seguintes:

$H_{20} \cong 24$ cm

$H_n \cong 32$ cm

$H_m \cong 40$ cm

a) Dimensionamento utilizando concreto usinado a quente (CBUQ)

Cálculo das espessuras da camada do pavimento

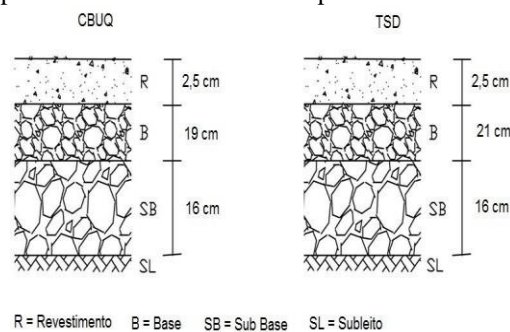
- Camada de base: $B \geq 19$ cm
- Camada de sub-base: $SUB \geq 8$ cm
- Camada de reforço do subleito $REF \geq 6$ cm

b) Dimensionamento utilizando tratamento superficial duplo (TSD)

Cálculo das espessuras da camada do pavimento

- Camada de base $B \geq 21$ cm
- Camada de sub-base $SUB \geq 8$ cm
- Camada de reforço do subleito $REF \geq 6$ cm

Imagem 5. Espessura final das camadas do pavimento bairro Edith Cordeiro.



DIMENSIONAMENTO PARA O BAIRRO HEITOR GARCIA

Para o dimensionamento do pavimento no bairro Heitor Garcia realizou-se uma contagem no local nos dias 30 e 31 de Outubro de 2017, no horário de 07h às 19h, onde constatou-se que, em média, transitam 16 (dezesesseis) veículos pesados. Após 08 (oito) anos, o tráfego previsto de veículos pesados será de aproximadamente 32 veículos/dia.

Utilizando o quadro 1, classifica-se a via como V-2 e o tráfego previsto como LEVE, sendo assim, de acordo com a SUDECAP sua expectativa de vida útil será de 08 anos.

Tendo como resultado do número “N” o valor de $7,62 \cdot 10^4$, as espessuras de revestimento adotadas, tanto para CBUQ quanto para TSD, serão de 2,5 cm.

Quanto aos valores do ábaco, foram encontrados os seguintes:

$H_{20} \cong 23 \text{ cm}$

$H_n \cong 30 \text{ cm}$

$H_m \cong 38 \text{ cm}$

a) Dimensionamento utilizando concreto usinado a quente (CBUQ)

Cálculo das espessuras da camada do pavimento

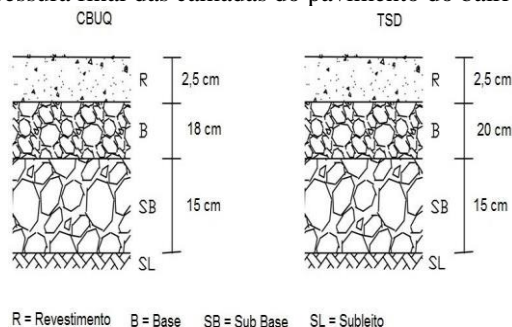
- Camada de base $B \geq 18 \text{ cm}$
- Camada de sub-base $SUB \geq 7 \text{ cm}$
- Camada de reforço do subleito $REF \geq 5 \text{ cm}$

b) Dimensionamento utilizando tratamento superficial duplo (TSD)

Cálculo das espessuras da camada do pavimento

- Camada de base $B \geq 20 \text{ cm}$
- Camada de sub-base $SUB \geq 7 \text{ cm}$
- Camada de reforço de sub-base $REF \geq 5 \text{ cm}$

Imagem 6. Espessura final das camadas do pavimento do bairro Heitor Garcia.



DIMENSIONAMENTO PARA O BAIRRO VISTA ALEGRE

Para o dimensionamento do pavimento no bairro Vista Alegre realizou-se uma contagem no local nos dias 16 e 23 de Outubro de 2017, no horário de 07h às 19h, onde constatou-se que, em média, transitam 57 (cinquenta e sete) veículos pesados. Após 08

(oito) anos, o tráfego previsto de veículos pesados será de aproximadamente 135 veículos/dia.

Utilizando o quadro 1, classifica-se a via como V-3 e o tráfego previsto como MÉDIO, sendo assim, de acordo com a SUDECAP sua expectativa de vida útil é de 10 anos.

Tendo como resultado do número “N” o valor de $6,22 \cdot 10^5$, as espessuras de revestimento adotadas, tanto para CBUQ quanto para TSD, serão de 2,5 cm.

Foram encontrados os seguintes valores no ábaco:

$H_{20} \cong 25 \text{ cm}$

$H_n \cong 33 \text{ cm}$

$H_m \cong 43 \text{ cm}$

a) Dimensionamento utilizando concreto usinado a quente (CBUQ)

Cálculo das espessuras da camada do pavimento

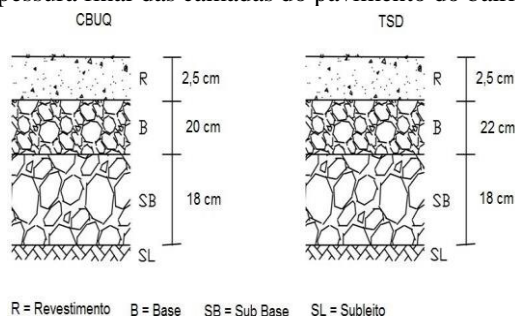
- Camada de base $B \geq 20 \text{ cm}$
- Camada de sub-base $SUB \geq 8 \text{ cm}$
- Camada de reforço do subleito $REF \geq 8 \text{ cm}$

b) Dimensionamento utilizando tratamento superficial duplo (TSD)

Cálculo das espessuras da camada do pavimento

- Camada de base $B \geq 22 \text{ cm}$
- Camada de sub-base $SUB \geq 8 \text{ cm}$
- Camada de reforço do subleito $REF \geq 8 \text{ cm}$

Imagem 7. Espessura final das camadas do pavimento do bairro Vista Alegre.



Disposto então o tráfego ali presente e o dimensionamento de todos os bairros analisados, dividiu-se em zonas de tráfego muito leve, leve e médio, onde a classificação de cada bairro deu-se conforme o quadro abaixo:

Quadro 3. Classificação dos bairros por zoneamento.

	Bairro	Área a ser pavimentada (m²)
Zona 1	Vasco Lopes Jair Cordeiro Bela Vista	55.505,10
Zona 2	Edith Cordeiro Heitor Garcia	34.744,50
Zona 3	Vista Alegre	17.871,70
	Total:	108.121,30

As vantagens do revestimento TSD estão ligadas principalmente ao uso de equipamentos mais simples, trabalhabilidade à temperatura ambiente, possibilidade de estocagem e flexibilidade elevada. Devido a esses fatores e sua facilidade de manuseio no campo, o TSD é uma ótima opção para vias de tráfego leve e médio, sua aplicação pode não ser vantajosa quando comparado com o CBUQ, pois apresenta maior desgaste ao uso e um envelhecimento mais rápido. O CBUQ é utilizado como revestimento de pavimento para qualquer volume de tráfego, desde o muito baixo até o muito elevado.

Para o comparativo de custos, buscou-se valores junto a empresas que atuam no meio de pavimentação na região da cidade de Papagaios - MG e através de tabela fornecida pelo Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DEER – MG) e Empresa ASR Engenharia.

Foram orçados os preços para a aplicação do TSD, de modo que na Tabela Referencial DEER – MG, de vigência em abril de 2017, o preço do metro quadrado é de R\$12,66, enquanto que pela empresa ASR Engenharia, o preço total é de R\$16,10. O preço médio para a aplicação do TSD por metro quadrado resulta-se então em R\$14,38.

Quanto aos valores orçados para CBUQ, na Tabela Referencial DEER – MG, de vigência de 2017, o preço total R\$18,06, e o valor indicado pela empresa ASR Engenharia é de R\$21,50. O preço médio para a aplicação do CBUQ por metro quadrado resulta-se então em R\$19,78.

Foi caracterizado como “zona 1” todos os bairros que apresentaram tráfego muito leve (Vasco Lopes, Jair Cordeiro e Bela Vista) determinado então a área total a ser

pavimentada de 55505,10 m². O valor total afim de obter o custo para a aplicação do TSD é de R\$ 798.163,34 e CBUQ é de R\$ 1.097.890,88.

Foi caracterizado como “zona 2” todos os bairros que apresentaram tráfego leve (Edith Cordeiro e Heitor Garcia), determinado então a área total a ser pavimentada de 34744,5 m². O custo para a aplicação do TSD é de R\$499.625,91 e CBUQ é de R\$687.246,21.

Foi caracterizado como “zona 3” todos os bairros que apresentaram tráfego médio (Vista Alegre), determinado então a área a ser pavimentada de 17871,7 m². O custo para a aplicação do TSD é de R\$256.995,05 e CBUQ é de R\$353.502,23.

Na comparação de custos entre os revestimentos tem-se o TSD como a solução mais vantajosa inicialmente, pois CBUQ apresenta uma diferença superior de aproximadamente 37% que o TSD.

Para tráfegos caracterizados como muito leve e leve, descritos na “zona 1” e “zona 2” será utilizado o TSD, pois a baixa intensidade do tráfego não justifica a aplicação do CBUQ que é um revestimento com alta resistência, caracterizando a análise dessas zonas somente pelo custo.

A “zona 3” foi caracterizada como tráfego médio, ainda sim apresenta um custo menor para a aplicação do TSD, sendo este viável aos custos de aplicação, mas, no que tange ao tráfego ali presente torna-se outra alternativa a aplicação de um pavimento com resistência maior, pois tal local apresenta a maior probabilidade de crescimento do número de veículos pesados, sendo assim pode-se aplicar o CBUQ neste zoneamento.

4 CONCLUSÃO

Com todas estas informações, conclui-se que o tratamento superficial duplo atende a pavimentação de todos os bairros citados neste trabalho, porém o CBUQ pode ser indicado para bairro com tráfego médio, se houver o aumento de tráfego maior do que o esperado, e para vias onde há tráfego de veículo muito pesados.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7207/82: Terminologia e Classificação de Pavimentação. Rio de Janeiro: ABNT, 1985.
- Balbo, Jose Tadeu. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Método de projeto de pavimentos flexíveis. 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 1981.
- Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Manual de Pavimentação – DNIT. 3ª Edição. Rio de Janeiro. Diretoria Colegiada do DNIT, 2006.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – SIDRA. Rio de Janeiro, 2010.
- Marques, G. L. O. et al. Estudo de Pré-Misturado a Frio Utilizando Agregados da Região de Juiz de Fora-MG. Relatório final de pesquisa CNPQ / Programa PIBIC -UFJF, 2010.
- Prado, J. L. S. Manual de Pavimentação. Belo Horizonte, 1961, vol. 2.
- Senço, W. de. Manual de Técnicas de Pavimentação. São Paulo: PINI, 1997, vol. 2.
- Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP). Classificação de Vias. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/>. Acesso em 13 maio 2021.
- Teixeira, L. H. Tratamento Superficial. Boletim Técnico SINICESP, São Paulo, n. 12, 2012.