



GABRIELA BENOTI BOMBO

**DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO E APARELHOS DE
DRENAGEM SUPERFICIAL DO CAMPUS DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS**

LAVRAS – MG

2021

GABRIELA BENOTI BOMBO

**DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO E APARELHOS DE DRENAGEM
SUPERFICIAL DO CAMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Keoma Defáveri do Carmo e Silva

Orientador

LAVRAS –MG

2021

GABRIELA BENOTI BOMBO

**DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO E APARELHOS DE DRENAGEM
SUPERFICIAL DO CAMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 14 de maio de 2021.

Dr. Keoma Defáveri do Carmo e Silva (UFLA)

Dr. Paulo Roberto Borges (UFLA)

Dr. Ígor José Mendes Lemes (UFLA)



Prof. Dr. Keoma Defáveri do Carmo e Silva

Orientador

LAVRAS –MG

2021

AGRADECIMENTOS

Em primeira instância gostaria de agradecer a Deus e a Nossa Senhora, por me protegerem e me abençoarem de várias maneiras.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Engenharia (DEG) por toda estrutura e oportunidades na aquisição de conhecimento.

À minha família, por todos valores ensinados. Em especial Márcia e Ricardo, meus pais, que sempre acreditaram em mim e que me mostraram onde há paixão e determinação nada é impossível.

Ao meu namorado Carlos Eduardo por todo apoio, encorajamento, motivação e companheirismo nesta etapa.

Aos meus amigos de graduação, que deixaram a caminhada mais leve. Especialmente meu amigo Ângelo, pela amizade e convivência. A vocês eu deixo minha eterna gratidão.

Ao professor Dr. Keoma Defáveri do Carmo e Silva por toda disponibilidade e orientação neste projeto.

A todos os grupos/núcleos em que fui membro, CA-ABI, Neciv e Transforma Júnior, entidades que contribuíram muito para meu crescimento pessoal e profissional.

RESUMO

Caracterizado como um conjunto de camadas finitas, o pavimento é responsável por garantir conforto e segurança ao usuário, além de resistir aos agentes climáticos e esforços oriundos do tráfego. Diante disso, fica evidente a necessidade de se dimensionar corretamente essas camadas. Assim, o objetivo do presente trabalho é dimensionar o pavimento da Avenida Central do campus universitário da Universidade Federal de Lavras (UFLA) situada no município de Lavras-MG. Esse cálculo será realizado a partir do fluxo diário de veículos que transitam no campus, o chamado “número N” e o método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNIT; as espessuras das camadas são obtidas de acordo com a capacidade de suporte dos materiais granulares empregados. Os aparelhos de drenagem são dimensionados em conformidade com o índice pluviométrico do município e segundo o Manual de drenagem de rodovias do DNIT a fim de garantir a estabilidade do pavimento. Foi encontrado um pavimento com espessura total de 1,00 m e os aparelhos de drenagem com alturas entre 0,30 m e 1,50 m, largura de 4,90 m e área útil de 1,50 m². A partir dos resultados obtidos é possível evidenciar a importância do levantamento de dados, emprego dos métodos de dimensionamento e emprego dos materiais corretos.

Palavras-chave: Pavimento flexível, dimensionamento DNIT, tráfego leve, aparelhos de drenagem, UFLA.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1 Pavimento	8
2.2 Classificação do pavimento.....	8
2.3 Dimensionamento dos pavimentos.....	9
2.3.1 O Método de Dimensionamento do DNIT	10
2.3.2 Número N	11
2.3.3 Dimensionamento das camadas.....	13
2.4 Sistemas de drenagem	16
2.4.1 Drenagem superficial.....	17
2.4.1.1 Sarjetas de corte.....	18
2.4.1.3 Descidas de água.....	21
2.4.1.4 Saídas de água.....	23
2.4.1.5 Caixas coletoras	23
2.4.1.6 Bueiros de greide	24
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Métodos de dimensionamento	25
3.1.1 Parâmetros para cálculo do número N.....	25
3.1.2 Materiais e espessuras das camadas	28
3.1.3 Índices pluviométricos.....	28
3.1.4 Parâmetros para o dimensionamento dos aparelhos de drenagem	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1. Número N	30
4.2 Espessura das camadas	31
4.3 Sarjeta de Corte e Sarjeta de Aterro	32
4.4 Descidas de água	34
4.5 Saídas de água.....	35
4.6 Caixa coletora	36
4.7 Bueiros de greide	37
4.8 Representação gráfica dos elementos dimensionados	38
5. CONCLUSÃO	40
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

À medida que a humanidade se desenvolvia, era cada vez mais necessário a criação de métodos que facilitassem e agilizassem o deslocamento dos seus usuários. Assim sendo, o homem desenvolveu formas de construções terrestres que seriam capazes de sustentar os meios que ali transitavam, garantindo uma velocidade elevada, mas sempre prezando por segurança, conforto e eficiência (LEAL, 2015). Ainda segundo Leal (2015), para que a via cumpra suas funções durante todo o período de projeto, é de extrema importância que se tenha o entendimento de seu objetivo, localização, tipo e volume de tráfego.

O dimensionamento de pavimentos deve ser realizado levando em consideração a densidade de tráfego, com previsão de acréscimo no futuro, e a influência das condições climáticas. Um bom dimensionamento garante camadas com espessuras adequadas e materiais satisfatórios para suportar as tensões e minimizar as deformações e deslocamentos após a passagem dos veículos (BERNUCCI et al., 2006; SENÇO, 1997).

O desempenho insatisfatório do pavimento, tem como uma de suas principais causas, a infiltração de água no pavimento. Desta forma, o mecanismo de deterioração do pavimento relacionado ao excesso de umidade deve ser tratado com conceitos básicos de drenagem e hidráulica (AZEVEDO, 2007). Segundo Moulton (1980), a saturação do pavimento causada pela infiltração pelas bordas e superfícies prejudica sua capacidade de suportar as solicitações dinâmicas do tráfego.

Devido a um padrão de afundamento do pavimento no trecho em aclave da Avenida Central do campus da Universidade Federal de Lavras, situado entre o Ginásio Esportivo e a Moradia Estudantil, este trabalho teve como finalidade o dimensionamento teórico do pavimento da avenida em questão de acordo com a quantidade de veículos que ali transitam diariamente e, para assegurar a conservação da via, o dimensionamento dos aparelhos de drenagem superficial em conformidade com os índices pluviométricos da região.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pavimento

O pavimento é caracterizado como um conjunto finito de camadas de materiais distintos, tendo como principal função resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e agentes relacionados ao clima. Deve proporcionar conforto e segurança ao usuário, ao mesmo tempo sendo financeiramente viável para aqueles que o administram (BERNUCCI et al., 2006; MOTTA, 2003).

Para um pavimento do tipo flexível, essas camadas são geralmente divididas em subleito, reforço de subleito, sub-base, base e revestimento. Tais camadas são definidas pelo glossário de termos técnicos rodoviários (DNIT IPR 700, 2017) como apresentado a seguir:

- Subleito: maciço semi-infinito que serve de fundação para o pavimento ou revestimento;
- Reforço de subleito: camada executada com o objetivo de melhorar a capacidade de suporte de carga do subleito e de reduzir a espessura da sub-base;
- Sub-base: camada corretiva do subleito, responsável por prevenir a expansão e contração deste, além de combater o bombeamento dos solos finos para a base, e complementar à base, e executada quando, por razões de ordem econômica, for conveniente reduzir a espessura de base;
- Base: camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos dos veículos, distribuindo-os ao subleito, e sobre a qual se constrói o revestimento;
- Revestimento: camada superior do pavimento, que recebe diretamente as ações verticais e horizontais dos veículos, e destinada a melhorar as condições do rolamento quanto ao conforto e segurança.

2.2 Classificação do pavimento

De uma forma geral os pavimentos são classificados como rígidos, flexíveis ou semi-rígidos, sendo que a diferença essencial entre eles é a forma com que a distribuição da carga aplicada pelos veículos será transmitida até o subleito da estrutura (ROSSI, 2016).

O pavimento rígido é constituído por um revestimento à base de cimento Portland, sendo que este apresenta elevada rigidez com relação as camadas inferiores, absorvendo assim grande parcela dos esforços horizontais e aliviando as tensões verticais sobre as demais camadas

(DNIT IPR 719, 2006; BALBO, 2007). Suas camadas trabalham essencialmente a tração, além de serem pouco deformáveis e apresentarem uma vida útil maior (MARQUES, 2006).

Os pavimentos flexíveis têm como características o revestimento em material asfáltico e a distribuição aproximadamente uniforme do carregamento nas camadas (DNIT IPR 719, 2006). Suas camadas não trabalham a tração, e isso se deve a elevada concentração de agregados na composição do pavimento, apresentando camadas puramente granulares (BERNUCCI et al, 2006).

Já os pavimentos semi-rígidos se encontram numa situação intermediária entre os rígidos e flexíveis. Assim como os flexíveis são constituídos de revestimento asfáltico, mas para que apresentem rigidez suficiente para suportar as cargas do tráfego, tem-se a adição de material cimentício nas camadas de base ou sub-base (BALBO, 2007). O que garante uma maior deformabilidade com relação aos pavimentos rígidos, porém menor que os denominados flexíveis (PAIXÃO; CORDEIRO; MOTA, 2017).

Medina (1997), entretanto, aponta apenas duas categorias de pavimento: os rígidos e os flexíveis. Afirmando que se perde o sentido a definição das camadas quanto as suas funções específicas, uma vez que o pavimento é analisado como um sistema de camadas. Ainda, para Balbo (2007), os termos rígido e flexível estão relacionados à resposta estrutural do pavimento como um todo, descrevendo o comportamento deste sob ações externas. Dessa maneira, quando se toma o revestimento como referência, seriam termos inadequados para classificar um pavimento, pois impõem-se a resposta estrutural de um material sujeito a condições climáticas e diferentes formulações, como referência de identificação de um pavimento.

2.3 Dimensionamento dos pavimentos

O dimensionamento se caracteriza pela determinação das camadas que compõem o pavimento (revestimento, base, sub-base e reforço do subleito), suas respectivas espessuras e o tipo de material empregado em cada uma delas, visando uma superfície regular e aderente, que garanta ao usuário conforto e segurança nas vias urbanas e rurais (BALBO, 2007).

De acordo com Franco (2007), o dimensionamento de pavimentos asfálticos leva em consideração fatores que são muito difíceis de prever, tais como: características dos materiais, o comportamento destes quando submetidos a cargas e o tipo de resposta da estrutura quanto à variação das condições climáticas.

Os métodos de dimensionamento são caracterizados de duas maneiras: empíricos e mecanicísticos empíricos. Sendo o primeiro baseado na simples observação e experiência acumulada e correlaciona o desempenho do pavimento com os materiais utilizados, enquanto o segundo faz uso de conceitos mecânicos para analisar o comportamento estrutural do pavimento (SENÇO, 2007).

2.3.1 O Método de Dimensionamento do DNIT

O método mais utilizado no Brasil é o método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNIT, visto que 95% dos pavimentos em utilização no país são flexíveis (BERNARDES, 2013). O método foi desenvolvido pelo Engenheiro Murillo Lopes de Souza na década de 1960 a partir de modificações no método de autoria do Corpo de Engenheiros de Exército Americano que utiliza como base o Índice de Suporte Califórnia (ISC), desenvolvido por Turnbull e outros (MEDINA e MOTTA, 2005).

Tal método visa como resultado a determinação da espessura do pavimento capaz de proteger o subleito com relação à ruptura por cisalhamento ou acúmulo de deformações, sejam essas plásticas ou permanentes (SANTIAGO, 2015). De acordo com Souza (1981), as etapas que constituem o método são:

- (i) Definição da capacidade de suporte do subleito – os materiais empregados devem se enquadrar nas especificações mínimas de capacidade de suporte e expansão;
- (ii) Determinação do tráfego – definição do número N;
- (iii) Definição dos coeficientes de equivalência – determinam a relação de capacidade de suporte de cada material;
- (iv) Dimensionamento do pavimento – determinação das espessuras mínimas das camadas a partir de fórmulas empíricas.

Segundo Motta (1991), Miranda e outros (1988) o método desenvolvido por Murillo Lopes de Souza é demasiadamente excedido com relação à segurança estrutural, uma vez que as espessuras são majoradas cerca de 20% no que diz respeito ao ISC e número N. Pois ao transpor o método do Corpo de Engenheiros do Exército Americano, o engenheiro brasileiro extrapolou os valores recomendados, uma vez que o método original apresenta o valor da espessura em termos de somatório de base e revestimento, e este ao transformar a espessura total separou a camada de revestimento e base e aplicou o coeficiente estrutural de 2 para o revestimento.

2.3.2 Número N

Um dos itens do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNIT que merece destaque é a forma de contabilizar o tráfego na rodovia. Os métodos empíricos consideram a utilização de um carregamento padrão, o chamado Eixo Padrão Rodoviário e de valor igual a 8,2 t, e aqueles que diferem de tal carregamento são transformados em solicitações de carregamento do eixo padrão, convencionado como “número N”. Para contabilização do “número N”, toma-se como referência o trecho escolhido e vias secundárias que levam ao acesso da primeira (FRANCO, 2007; MOTTA, 1991). O “número N” é determinado pela Equação 1.

$$N = V_p \times FE \times FC \times FR \quad (1)$$

Sendo: N = número de repetições do eixo padrão; V_p = volume acumulado de tráfego ao longo do período de projeto; FE = fator de eixo; FC = fator de carga; FR = fator de clima.

Como apresentado na Equação 1, o VP trata-se do crescimento do tráfego durante o período de utilização da rodovia, podendo ser estimado através de projeções matemáticas, que levam em conta o volume inicial, tempo de projeto, taxa de crescimento anual. Essa projeção pode ser linear, representada pela Equação 2 ou aritmética, indicada na Equação 3.

$$VP = 365 \times VDM \times \frac{(1 + P \times t)^2 - 1}{2t} \quad (2)$$

$$VP = 365 \times VDM \times \frac{(1 + t)^P - 1}{\ln(1 + t)} \quad (3)$$

Sendo: VP = crescimento tráfego; P = tempo de projeto (anos); t = taxa de crescimento; VDM = volume diário médio.

O volume diário médio (VDM) é definido como o volume total de veículos mistos que transitam por determinada via em ambos os sentidos do tráfego. A contagem do montante de veículos pode ocorrer de duas maneiras: manualmente, onde o pesquisador fica ao lado da rodovia e utiliza uma planilha adequada para contabilizar os dados, ou automaticamente, com o auxílio de equipamentos instalados lateralmente à rodovia. O cálculo do VDM é expresso pela Equação 4.

$$\mathbf{VDM} = \frac{\mathbf{\sum \text{veículos}}}{\mathbf{365}} \quad (4)$$

Onde: VDM = volume diário médio; \sum veículos = total de veículos que transitam no período de um ano; 365 = dias do ano.

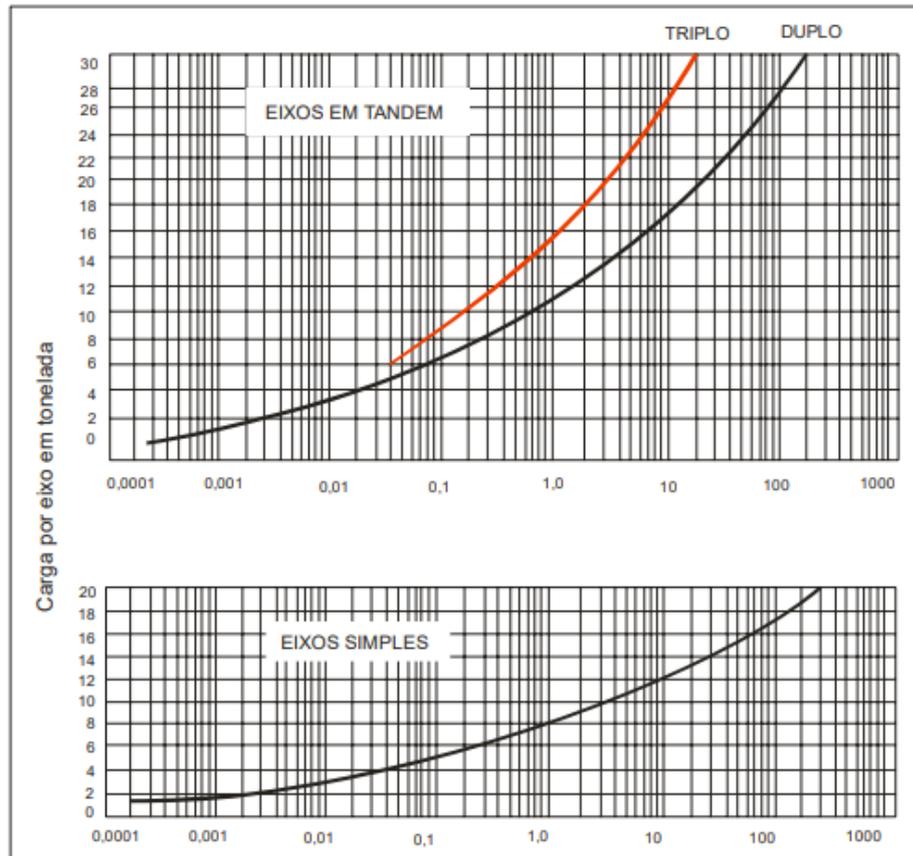
O próximo fator explicitado na equação para determinação do “número N” é o chamado Fator de eixo (FE), definido como um número que relaciona o montante de veículos e a porcentagem de eixos correspondentes. De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (DNIT IPR 719, 2006) para a realização desse cálculo é necessário conhecer a composição do tráfego. O FE é determinado pela Equação 5.

$$\mathbf{FE} = \frac{\mathbf{f1 \times 1 + f2 \times 2 + \dots + fn \times n}}{\mathbf{100\%}} \quad (5)$$

Onde: FE = fator de eixo; fn = porcentagem de determinado tipo de veículo em relação ao total; n = número de eixos no veículo.

Já o fator de carga (FC), transforma qualquer magnitude de cargas em um número equivalente de operações de um eixo padrão, em função do tipo de eixos. Tal conversão é obtida através de ábacos representados na Figura 1.

Figura 1 - Ábacos de conversão.



Fonte: DNIT IPR 719 (2006).

O último fator a ser apresentado é o fator climático regional (FR), que representa as variações de umidade dos materiais utilizados nas camadas durante o ano, o que poderia afetar a espessura do pavimento. O coeficiente a ser utilizado para cálculo do número N deve ser uma média ponderada dos diferentes coeficientes sazonais. De acordo com pesquisas desenvolvidas no IPR/DNER o coeficiente utilizado no Brasil possui valor fixo igual a 1 (DNIT IPR 719, 2006).

2.3.3 Dimensionamento das camadas

O pavimento é composto por camadas que serão construídas após a terraplanagem do local acima do subleito, que funcionará como a fundação do sistema. A espessura dessas camadas irá variar conforme as solicitações impostas pelo tráfego (ROSSI, 2017).

O revestimento betuminoso é a camada mais externa do pavimento, ou seja, receberá diretamente as ações do tráfego, assim deverá ter sua espessura respeitada para que não haja redução da resistência (ROSSI, 2017). A determinação de sua espessura mínima é realizada de acordo com o valor encontrado para o número N e esta relação é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1- Espessura do revestimento betuminoso

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: DNIT IPR 719 (2006).

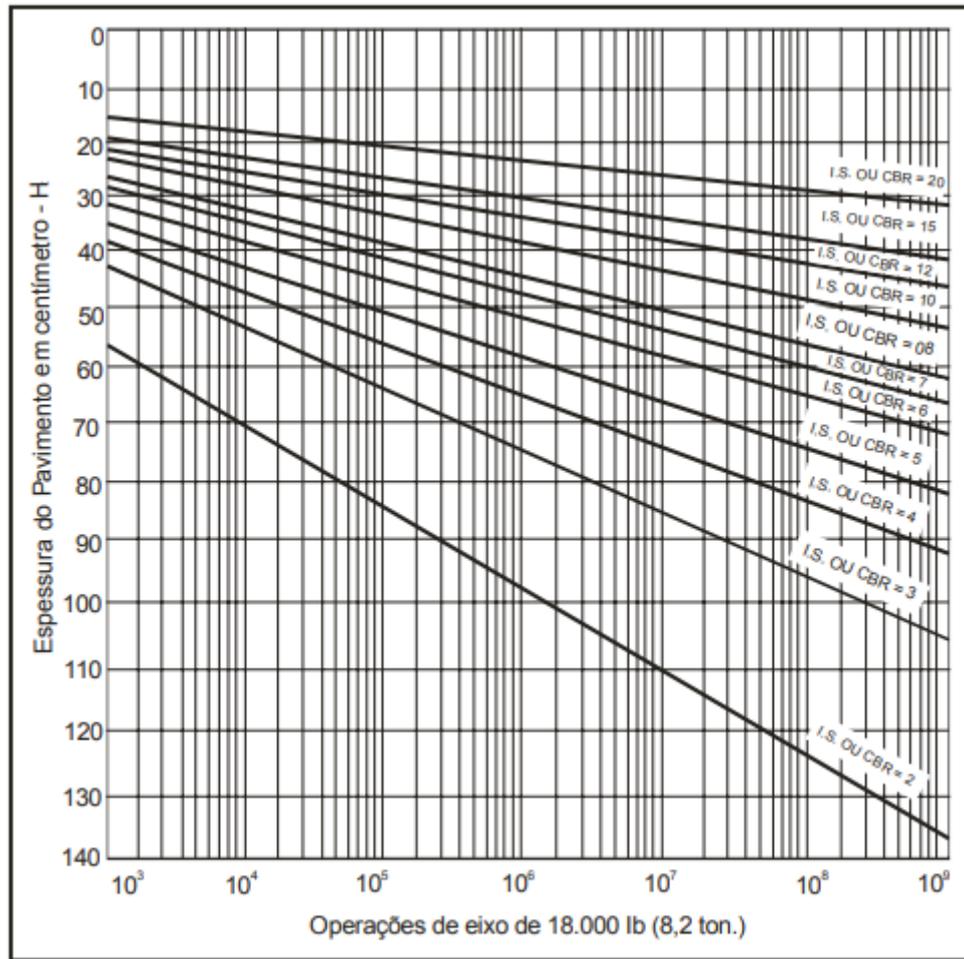
Para as demais camadas e seu dimensionamento estrutural com relação ao método convencional do DNIT faz-se uso da caracterização mecânica através do ISC. O ISC é expresso em porcentagem e é definido como a relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração num corpo de prova de solo ou material granular e a pressão necessária para realizar a mesma penetração no material padrão referencial (BERNUCCI et al, 2006).

De grande utilização na constituição das camadas de base, sub-base e reforço do subleito, os materiais granulares são aqueles que não possuem coesão e não trabalham a tração (BERNUCCI et al, 2006). Posto isso, o Manual de Pavimentação (DNIT IPR 719, 2006) determina características mínimas para as camadas granulares no que diz respeito ao valor do ISC:

- Subleito: $ISC \geq 2\%$;
- Reforço do subleito: ISC maior que o apresentado pelo subleito;
- Sub-base: $ISC \geq 20\%$;
- Base: $ISC \geq 80\%$ ($ISC \geq 60\%$ para $N \leq 10^6$).

A Figura 2 a seguir representa o ábaco utilizado no dimensionamento das camadas. Tal ábaco relaciona o valor do ISC de determinada camada com o número N encontrado e apresenta como resultado o somatório da espessura das camadas subjacentes. Pela análise do ábaco em questão, observa-se que o emprego de materiais com ISC elevado está relacionado com somatórios de menores valores, resultando em pavimentos mais compactos.

Figura 2 - Ábaco para determinação da espessura do pavimento.



Fonte: DNIT IPR 719 (2006).

A espessura da camada de base é determinada de acordo com a Equação 6, a da sub-base pela Equação 7 enquanto a Equação 8 fornece a espessura do reforço do subleito e seguem a representação da Figura 3. Salienta-se que para as camadas granulares as espessuras máximas e mínimas para compactação são de 20 e 10 cm, e a espessura construtiva mínima é de 15 cm (DNIT IPR 719, 2006).

$$RK_r + BK_b \geq H_{20} \quad (6)$$

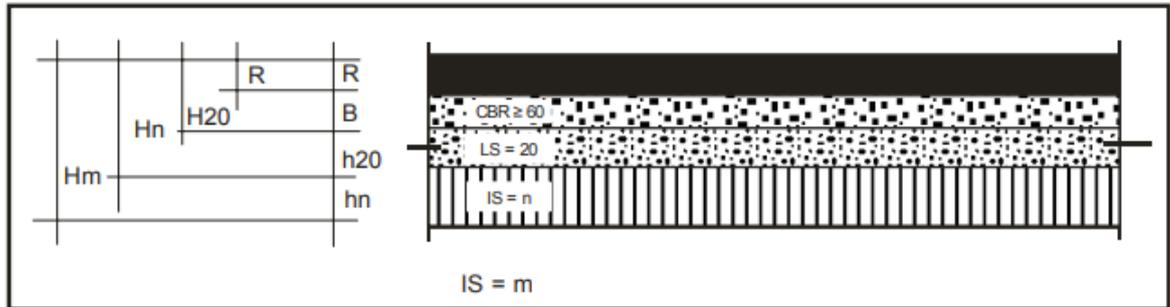
$$RK_r + BK_b + h_{20}K_s \geq H_n \quad (7)$$

$$RK_r + BK_b + h_{20}K_s + h_nK_{ref} \geq H_t \quad (8)$$

Sendo: H_t = espessura total do pavimento (cm); N = número N ; ISC = valor fixo 20%; H_{20} = Espessura da sub-base (cm); H_n = espessura do reforço do subleito (cm); B = espessura

da base (cm); R = espessura do revestimento betuminoso (cm); K_r = coeficiente de equivalência estrutural do revestimento; K_b = coeficiente de equivalência estrutural da base; K_s = coeficiente de equivalência estrutural da sub-base; K_{ref} = coeficiente de equivalência estrutural do subleito.

Figura 3 - Representação das camadas.



Fonte: DNIT IPR 719 (2006).

Os coeficientes de equivalência estruturais apresentados na Equações 6, Equação 7 e Equação 8 são valores pré-determinados, que correspondem a um valor empírico definido como a relação entre o material escolhido para a camada e o material granular padrão. Os valores fixados para os coeficientes de acordo com o material empregado encontram-se no Quadro 2.

Quadro 2 - Coeficientes de equivalência estrutural.

Componentes do pavimento	Coefficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camadas granulares	1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,20

Fonte: DNIT IPR 719, 2006

2.4 Sistemas de drenagem

Mascarenhas Neto (1790) ao viajar pela Europa, apresentou um Tratado para Construção de Estradas, onde faz referência ao seguinte aspecto para uma boa pavimentação.

Drenagem e abaulamento: o convexo da superfície da estrada é necessário para que as águas, que chovem sobre ela, escorram mais facilmente para os fossos, por ser esta expedição mais conveniente à solidez da estrada. (MASCARENHAS NETO, 1790).

O sistema de drenagem tem a função de garantir a umidade prevista em projeto, uma vez que a variação da mesma afeta diretamente o pavimento no que diz respeito ao comportamento estrutural. Além de garantir uma velocidade de escoamento da água compatível com o solo (FERREIRA, 2008).

A pavimentação promove alterações nos padrões de drenagem natural, acarretando um desequilíbrio no sistema, uma vez que a elevada compactação da superfície altera a capacidade de infiltração da água e aumenta o escoamento superficial (DEMARCHI, 2003).

No que diz respeito a rodovias e de acordo com o Manual de Drenagem de Rodovias (DNIT IPR 724, 2006) os tipos de drenagem são classificados em:

- Drenagem superficial: conjunto de medidas no sentido de afastar as águas que escoam sobre a superfície do pavimento ou próxima da mesma;
- Drenagem de transposição de talvegues: águas originadas de uma bacia precisam ser atravessadas sem comprometer a estrutura da estrada;
- Drenagem do pavimento: utilização de camada granular abaixo do revestimento para com finalidade de drenar as águas infiltradas;
- Drenagem subterrânea ou profunda: dispositivos subterrâneos que impedem que as águas profundas atinjam a superfície da estrada por meio da ascensão capilar;
- Drenagem de travessia urbana.

2.4.1 Drenagem superficial

Segundo Moulton (1980), as infiltrações iniciais em pavimentos asfálticos ocorrem entre a pista de rolamento e acostamento, em juntas da camada asfáltica e em trincas que aparecem com o tempo. A quantidade de trincas ou juntas e suas capacidades de vazão quando relacionadas com a intensidade e duração das chuvas são as grandes responsáveis pelo volume de água infiltrado através do pavimento (SUZUKI, AZEVEDO, KABBACH JÚNIOR, 2013).

Ainda de acordo com Suzuki, Azevedo e Kabbach Júnior (2013), quanto as precipitações, as de grande intensidade apresentam, de modo geral, curta duração e escoam pelo pavimento em vez de penetrar, devido a sua baixa permeabilidade. Já as precipitações de baixa

intensidade possuem períodos de duração mais longos, fornecendo assim maiores suprimentos de água, o que favorece a infiltração mesmo o pavimento apresentando uma permeabilidade reduzida. Outro fator que afeta diretamente na quantidade de água infiltrada é a geometria da via e sua declividade transversal e longitudinal, que podem ter influência no volume infiltrado nos pontos baixos e no aumento do número de trincas, respectivamente.

A drenagem superficial tem como objetivo interceptar, captar e conduzir a um deságue seguro as águas provenientes de áreas adjacentes e águas que precipitam diretamente sobre o pavimento de modo que seja garantida a estabilidade e segurança do pavimento (DNIT IPR 724, 2006). Para que seja um sistema eficiente, a drenagem superficial conta com uma série de dispositivos que são objetos de estudo desse trabalho. Os objetivos específicos, características e dimensionamento hidráulico de cada aparelho de drenagem está descrito a seguir.

2.4.1.1 Sarjetas de corte

De acordo com o Manual de drenagem de rodovias do DNIT (DNIT IPR 724, 2006), as sarjetas de corte são as responsáveis pela condução da água que se precipita sob a rodovia e taludes e condução desta água para o ponto de transição entre corte e aterro. Com relação a geometria, as sarjetas de corte podem ser: triangulares, trapezoidais, trapezoidais com capa, retangulares. Para realização do seu dimensionamento hidráulico, assim como os elementos já apresentados, é necessária a determinação da descarga de projeto pelo método racional, apresentada na Equação 9.

$$Q = \frac{C \times i \times A}{36 \times 10^{-4}} \quad (9)$$

Sendo: Q = descarga por metro linear ($m^3/s/m$); C = coeficiente médio de escoamento; i = intensidade da precipitação (cm/h); A = área de contribuição por metro linear de sarjeta (m^2/m).

Para determinação do coeficiente médio de escoamento é importante levar em consideração que a área de contribuição pode ser formada por diferentes superfícies com diferentes coeficientes de escoamento como exposto no Quadro 3 e assim, realizar uma média ponderada para seu cálculo como mostra a Equação 10. E para o dimensionamento da área de contribuição deve-se considerar a Equação 11.

Quadro 3 - Coeficientes de escoamento superficial

Características da superfície	Coeficiente de escoamento
Revestimento de concreto de cimento portland	0,70 – 0,90
Revestimento betuminoso	0,80 – 0,95
Revestimento primário	0,40 – 0,60
Solos sem revestimento com baixa permeabilidade	0,40 – 0,65
Solos sem revestimento com permeabilidade moderada	0,10 – 0,30
Taludes gramados	0,50 – 0,70
Prados e campinas	0,10 – 0,40
Áreas florestais	0,10 – 0,25
Terrenos cultivados em zonas altas	0,15 – 0,40
Terrenos cultivados em vales	0,10 – 0,30

Fonte: DNIT IPR 724, 2006.

$$C = \frac{(L1 \times C1) + (L2 \times C2)}{LT} \quad (10)$$

Sendo: L_n = largura do implúvio; C_n = coeficiente de escoamento do implúvio; LT = largura total do implúvio.

$$A = (L1 + L2) \times d \quad (11)$$

Sendo: L_1 = comprimento a determinar; L_2 = largura do implúvio; d = projeção horizontal do talude de corte.

O valor da intensidade de precipitação é determinado por estudos hidrológicos, para um tempo de retorno de 10 anos e duração da precipitação de 5 minutos. Para que não haja transbordamentos é fundamental determinar a vazão máxima capaz de ser conduzida pela sarjeta de acordo com a Equação 12. Percebe-se que essa equação é definida a partir da associação da equação de Manning e da continuidade e os valores de coeficiente de rugosidade (n) estão expostos no Quadro 4.

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{2/3} \times I^{1/2} \quad (12)$$

Onde: Q = vazão máxima admissível (m^3/s); n = coeficiente de rugosidade; A = área molhada da sarjeta (m^2); R = raio hidráulico (m); I = declividade da sarjeta (m/m).

Quadro 4 - Coeficiente de rugosidade

MATERIAL	TIPOS	n
Concreto	Tubos e Células	0,015

MATERIAL	CORRUGAÇÕES (mm)	n
Metálicos Aço Corrugado	66 x 12,7	0,019
	76 x 25,4	0,021
	152 x 51	0,024
	Bueiros para processo não destrutivo	0,024

Fonte: DNIT IPR 724 (2006).

2.4.1.2 Sarjetas de aterro

As sarjetas de aterro captam águas precipitadas sobre a plataforma e as conduzem ao desague sem que haja erosões no acostamento ou talude de aterro. A escolha da geometria deve ser bem elaborada pois estas podem interferir diretamente nas condições de segurança da rodovia (DNIT IPR 724, 2006).

Para que não haja erosão na borda da plataforma seu dimensionamento está condicionado a velocidade de escoamento da água, limitando essa ao valor máximo admissível para determinado material como representado no Quadro 5. Após essa definição, o dimensionamento segue as mesmas equações apresentadas anteriormente para a Sarjeta de corte.

Quadro 5 - Velocidade máxima admissível para água.

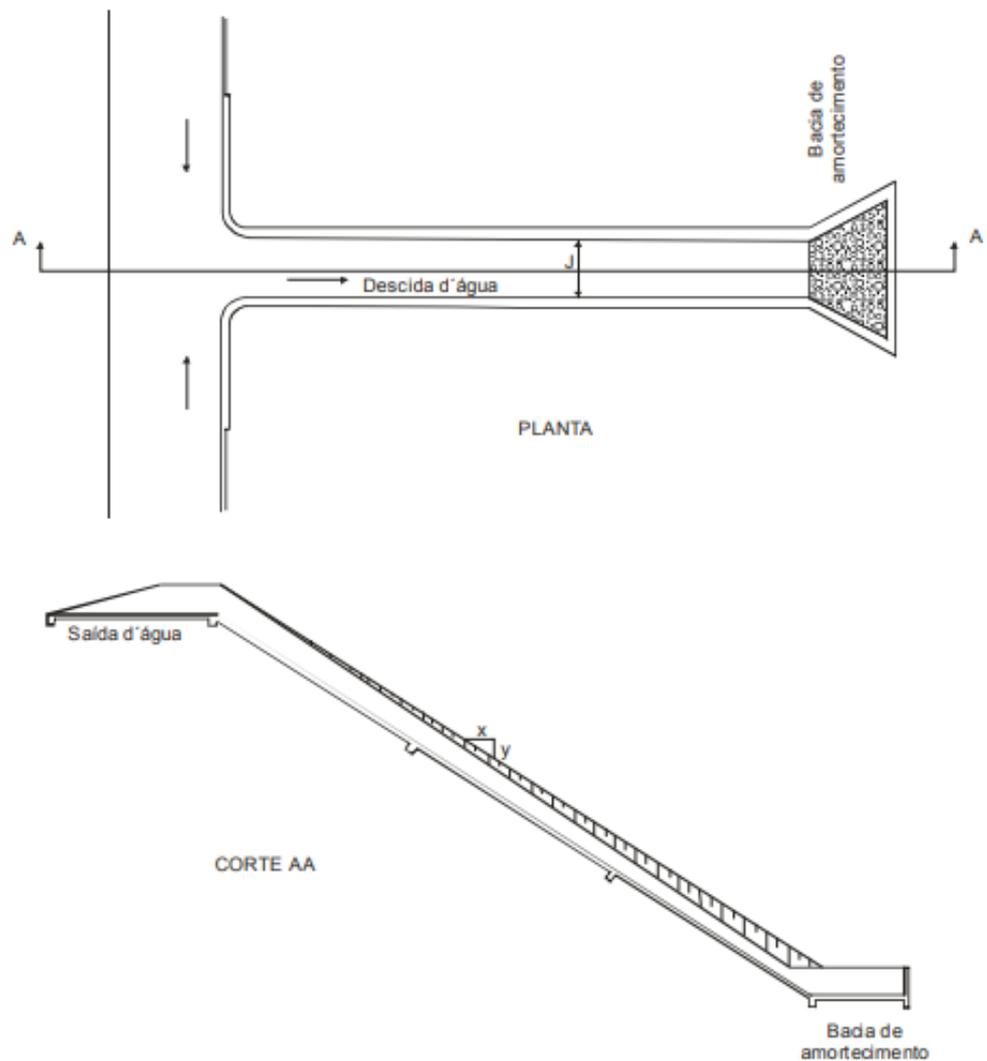
COBERTURA SUPERFICIAL	Velocidade máxima m/s
Gramma comum firmemente implantada	1,50 – 1,80
Tufos de grama com solo exposto	0,60 – 1,20
Argila	0,80 – 1,30
Argila coloidal	1,30 – 1,80
Lodo	0,35 – 0,85
Areia fina	0,30 – 0,40
Areia média	0,35 – 0,45
Cascalho fino	0,50 – 0,80
Silte	0,70 – 1,20
Alvenaria de tijolos	2,50
Concreto de cimento portland	4,50
Aglomerados consistentes	2,00
Revestimento betuminoso	3,00 – 4,00

Fonte: DNIT IPR 724 (2006).

2.4.1.3 Descidas de água

Responsáveis por conduzir as águas captadas por outros dispositivos e representada conforme a Figura 4. Apresentam-se em seções retangulares, semicirculares ou circulares (DNIT IPR 724, 2006).

Figura 4 - Descidas de águas.



Fonte: DNIT IPR 724, 2006

Seu dimensionamento hidráulico pode ser definido através de dois métodos: empírico e teoria hidráulica do movimento uniformemente variado. Esse segundo caracteriza-se pela precisão e recomenda-se sua utilização para obras de grandes investimentos. De tal maneira, o primeiro método atende as expectativas deste trabalho, pois não se trata de uma obra de grande expressão econômica e será apresentado a seguir. A Equação 13 é capaz de determinar a altura das paredes laterais da descida a partir de um valor pré-escolhido para a largura e que atenda a vazão de projeto.

$$Q = 2,07 \times L^{0,9} \times H^{1,6} \quad (13)$$

Onde: Q = descarga de projeto que chega até a saída (m³/s); L = largura (m); H = altura das paredes (m).

2.4.1.4 Saídas de água

Caracterizadas como dispositivos de transição entre sarjetas de aterro e descidas de água, ficam localizadas nas bordas dos acostamentos. Sua geometria deve ser capaz de receber e escoar a água para as descidas de maneira rápida e eficaz, sendo o rebaixamento gradativo da seção um método eficiente (DNIT IPR 724, 2006).

Seu dimensionamento hidráulico, representado pela Equação 14 é bem simples e consiste na determinação apenas de sua largura de entrada, de modo que essa seja capaz de escoar toda a água proveniente das sarjetas sem turbulência.

$$L = \frac{Q}{K \times Y \times \sqrt{g \times Y}} \quad (14)$$

Onde: L = largura da entrada (m); Q = vazão proveniente da sarjeta (m³/s); K= coeficiente em função da declividade, tomado de 0,20 para declividades entre 2 e 5%; Y = altura do fluxo na sarjeta (m); g = aceleração da gravidade (m²/s).

2.4.1.5 Caixas coletoras

Como o próprio nome já diz, são as responsáveis por coletar a água advinda de diferentes aparelhos de drenagem, além de garantir o bom funcionamento da rede através de inspeções e permitir a mudança de direção e de dimensões de bueiros (DNIT IPR 724, 2006). Apesar de apresentarem dimensões fixas de acordo com os dispositivos que estão conectadas, é possível o cálculo da sua área útil de acordo com a Equação 15.

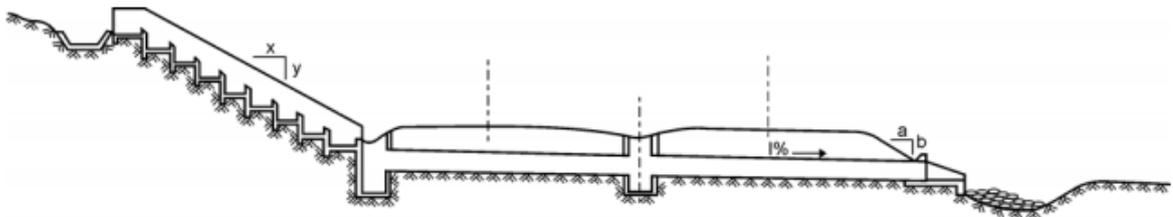
$$A = 0,226 \times \frac{Q}{C \times \sqrt{H}} \quad (15)$$

Onde: A= área útil (m²); Q = vazão a captar (m³/s); C = coeficiente de vazão, fixado em 0,6; H = altura do fluxo (m).

2.4.1.6 Bueiros de greide

De acordo com o Manual de drenagem de rodovias (DNIT IPR 724, 2006), é de responsabilidade dos bueiros o deságue das águas coletadas pelas caixas coletoras, como mostra a Figura 5. São compostos por: caixas coletoras, corpo e boca.

Figura 5 - Bueiro de greide em corte



Fonte: DNIT IPR 724 (2006).

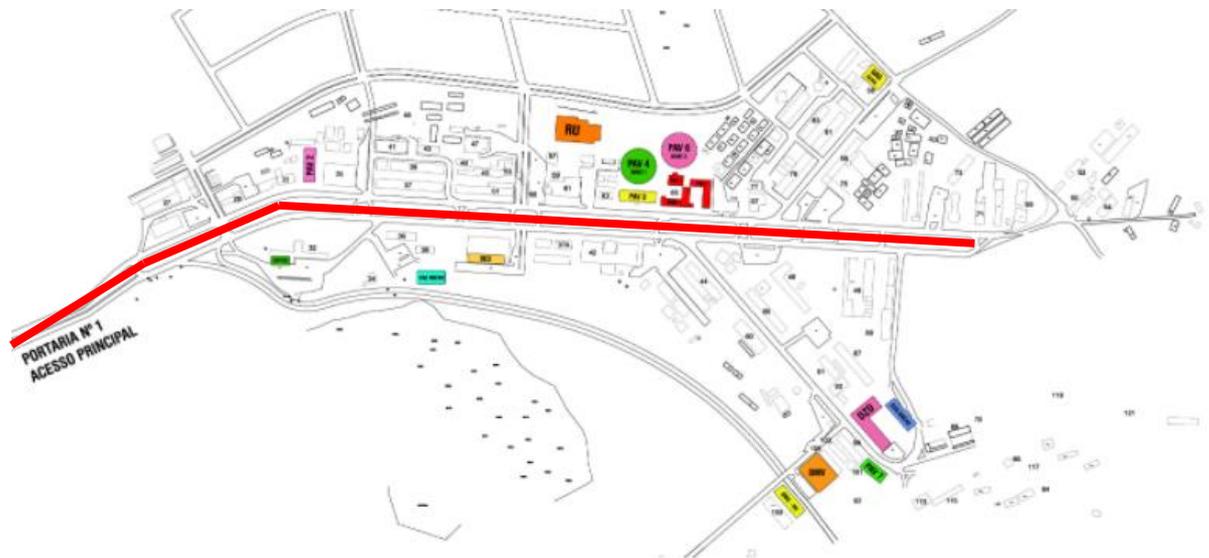
Os bueiros de greide apresentam alguns pontos específicos para sua instalação: nos pés das descidas d'água dos cortes, pontos de passagem de corte para aterro, nas rodovias de pista dupla para drenagem dos canteiros centrais, pontos críticos em sarjetas de cortes ou seção mista. E com relação a instalação desse aparelho de drenagem ela pode ser realizada transversal ou longitudinalmente ao eixo da rodovia (DNIT IPR 724, 2006).

Ainda de acordo com (DNIT IPR 724, 2006), seu dimensionamento não segue nenhuma equação específica, mas deve seguir algumas recomendações: a descarga de projeto será estabelecida pela soma das descargas dos demais aparelhos de drenagem afluentes as caixas coletoras; sempre que possível dimensiona-lo sem carga hidráulica a montante; adotar diâmetro mínimo de 0,80 m.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O objeto de estudo deste trabalho foi o dimensionamento do pavimento rodoviário e aparelhos de drenagem superficial da Avenida Central do campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), situado na cidade de Lavras, Minas Gerais, representado na Figura 6. Tal via é responsável pela ligação entre a portaria principal do campus, os principais pavilhões de sala de aula, biblioteca, centro de convivência e cantina. O trecho consta com 4 faixas de circulação de veículos, sendo duas em cada sentido e possui uma extensão total de 3 km.

Figura 6: Mapa do campus da Universidade Federal de Lavras



Fonte: Diretoria de Processos Seletivos, UFLA. Acesso em: 06 de março de 2021.

3.1 Métodos de dimensionamento

O dimensionamento do pavimento foi realizado com base no Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNIT. E de maneira complementar, como forma de assegurar a estabilidade do pavimento e sua segurança foram dimensionados os aparelhos de drenagem segundo o Manual de drenagem de Rodovias do DNIT.

3.1.1 Parâmetros para cálculo do número N

Com relação a utilização do método de pavimentos flexíveis em questão, é de extrema importância o conhecimento do número de veículos que transitam diariamente pelo trecho. Assim sendo, foram consideradas 2 linhas do transporte coletivo municipal, sendo elas Aeroporto e Novo Horizonte, e os dois veículos de transporte coletivo da UFLA que transitam pelo trecho em horários pré-determinados, como mostrado pelo Quadro 6 a seguir.

Quadro 6 - Horários de circulação dos ônibus internos

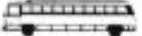
Horário	Saída	Chegada
06:30:00 as 7:40 (INTERMITENTE)	PORTARIA	CANTINA
07:55:00 MAMUTE/ELEFATINHO	PORTARIA	CANTINA
08:40:00 MAMUTE/ELEFATINHO	PORTARIA	CANTINA
08:55	PORTARIA	CANTINA
09:40	PORTARIA	CANTINA
09:55	PORTARIA	CANTINA
10:15	PORTARIA	CANTINA
	ALMOÇO	
11:45:00 MAMUTE/ELEFATINHO	CANTINA	PORTARIA
11:50:00 MAMUTE/ELEFATINHO	PORTARIA	CANTINA
12:00:00 MAMUTE/ELEFATINHO	CANTINA	PORTARIA
12:10:00 MAMUTE/ELEFATINHO	PORTARIA	CANTINA
12:20	CANTINA	PORTARIA
12:30	PORTARIA	CANTINA
12:40	PORTARIA	CANTINA
12:50	PORTARIA	CANTINA
13:30	PORTARIA	CANTINA
13:40	PORTARIA	CANTINA
13:50	PORTARIA	CANTINA
14:30	CANTINA	PORTARIA
14:40	PORTARIA	CANTINA
	CAFÉ	
15:40	CANTINA	PORTARIA
15:50	PORTARIA	CANTINA
16:40	CANTINA	PORTARIA
16:50	PORTARIA	CANTINA
	JANTAR	
17:30 as 19:20 (INTERMITENTE)	CANTINA / PORTARIA	PORTARIA
20:30 as 21:00 (INTERMITENTE)	CANTINA / PORTARIA	CANTINA
21:30 as 22:00 (INTERMITENTE)	CANTINA / PORTARIA	CANTINA
22:30 as 23:00 (INTERMITENTE)	CANTINA / PORTARIA	PORTARIA

Fonte: Pró reitoria de graduação UFLA. Acesso em 6 de março de 2021.

No que diz respeito aos demais fatores para o cálculo do número N, considerou-se um tempo de projeto equivalente a 20 anos, conforme recomendado pela Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários (DNIT IPR 717, 2005) e uma taxa de crescimento geométrica no valor de 6,0% a.a, valor este relacionado ao crescimento da frota per capita no estado de Minas Gerais no ano de 2005 (BNDES, 2008).

A classificação dos veículos acima citados foi feita de acordo com o esquema apresentado no Quadro 7. Posto isso, a classificação dos ônibus disponibilizados pelo município é classe/tipo 2C, enquanto aqueles disponibilizados pela Universidade são de classificação 2C e Tribus, considerado similar ao caminhão 3C quanto a distribuição de cargas nos eixos, como explicitado no Quadro 8.

Quadro 7 - Tipos de veículos com relação aos eixos

TIPOS DE VEÍCULOS										
CLASSE / TIPO		CONFIGURAÇÃO	TIPOS DE EIXOS				Nº EIXOS	Nº PNEUS	Nº UNIDADES	
			1º	2º	3º	4º				
VEÍCULOS LEVES	CARROS DE PASSEIO		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS SIMPLES			02	04	01	
	UTILITÁRIOS (PICK-UPS E FURGÕES)	 	SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS SIMPLES			02	04	01	
ÔNIBUS	ÔNIBUS ≅ 2C		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS			02	06	01	
	TRIBUS		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DÚPLO ESPECIAL			03	08	01	
VEÍCULOS COMERCIAIS	CAMINHÃO LEVE (608 e F4000)	2C LEVE		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS			02	06	01
		2C		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS			02	06	01
	CAMINHÕES MÉDIOS E PESADOS	3C		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DÚPLO TANDEM			03	10	01
		4C		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	TRÍPLO TANDEM			04	14	01
		CAMINHÕES COM SEMI-REBOQUE (CARRETAS)	2S1		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS		03	10
	2S2			SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	DÚPLO TANDEM		04	14	01
	2S3			SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	TRÍPLO TANDEM		05	18	01
	3S2			SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DÚPLO	DÚPLO TANDEM		05	18	01
	3S3			SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DÚPLO	TRÍPLO TANDEM		06	22	01
	CAMINHÕES COM REBOQUE (ROMEU E JULIETA)	2C2		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	04	14	02
		2C3		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	DÚPLO	05	18	02
		3C2		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DÚPLO	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	05	18	02
		3C3		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DÚPLO	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	DÚPLO	06	22	02
	"TREMINHÃO"	3C4		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DÚPLO	DÚPLO	DÚPLO	07	26	02

Fonte: Portal de tecnologia UFPR (2016).

Quadro 8: Carga legal por eixo

CARGA LEGAL (DNER)								
CLASSE / TIPO	CONFIGURAÇÃO	TIPOS DE EIXOS				Σ		
		1º	2º	3º	4º			
VEÍCULOS LEVES	CARROS DE PASSAGEIRO							
	UTILITÁRIOS (PICK-UPS E FURGÕES)							
ÔNIBUS	ÔNIBUS		4,0	7,5			11,5	
	TRABUS							
VEÍCULOS COMERCIAIS	CAMINHÃO LEVE (B06 e F4002)	3C LEVE		2,0	4,0			6,0
		2C		0,0	10,0			10,0
	CAMINHÕES MÉDIOS E PESADOS	3C		6,0	17,0			23,0
		4C		6,0	29,5			35,5
	CAMINHÕES COM SEMI-REBOQUE (CARRETAS)	2S1		6,0	10,0	10,0		26,0
		2S2		6,0	10,0	17,0		33,0
		2S3		6,0	10,0	25,5		41,5
		3S2		6,0	15,0	17,0		38,0
		3S3		6,0	19,0	25,5		49,5
		3S4		6,0	19,0	25,5		49,5
	CAMINHÕES COM REBOQUE (TOMBU E JULIETA)	2C2		6,0	10,0	10,0	10,0	36,0
		2C3		6,0	10,0	10,0	15,0	41,0
		3C3		6,0	15,0	10,0	10,0	41,0
		3C3		6,0	19,0	10,0	15,0	49,0
	"TREMINHÃO"	3C4		6,0	17,0	17,0	17,0	57,0

Fonte: Portal de tecnologia UFPR (2016).

3.1.2 Materiais e espessuras das camadas

A respeito desta etapa, os materiais considerados foram os mais comuns utilizados na pavimentação urbana, os materiais granulares. Quanto a estrutura das camadas, foram adotados: sub-leito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento asfáltico de concreto betuminoso. Já com relação ao ISC, foram aplicados os valores mínimos recomendados pelo DNIT (DNIT IPR 719, 2006) para as respectivas camadas: sub-leito com ISC = 2%; reforço do subleito com ISC = 3%, sub-base com ISC = 20% e base com ISC = 80%.

3.1.3 Índices pluviométricos

De acordo com o Manual de drenagem de rodovias do DNIT (DNIT IPR724, 2006), é necessário conhecer a intensidade pluviométrica da região para determinação da chuva de projeto. Deste modo, utilizou-se o valor de 150,14 mm/h, determinado pela Equação 16. Foram considerados um tempo de retorno de 5 anos, por não se tratar de uma via com intenso fluxo de veículos, e um tempo de precipitação igual a 5 minutos, cenário este relacionado ao eficiente escoamento da água.

$$i = \frac{K \times TR^M}{(t + B)^N} \quad (16)$$

Sendo: i = intensidade pluviométrica (mm/h); K , M , B , N = fatores regionais; TR = tempo de retorno (anos) e t = tempo de precipitação (minutos).

Os fatores regionais utilizados na Equação 16 para a cidade de Lavras, de acordo com Oliveira (2019), são: $K = 803,0697$; $M = 0,17$; $B = 9,7850$ e $N = 0,7242$.

3.1.4 Parâmetros para o dimensionamento dos aparelhos de drenagem

Para realização do dimensionamento foi considerado que todos os dispositivos de drenagem serão executados em concreto, apresentando assim um coeficiente de rugosidade $n=0,015$ e com velocidade máxima de escoamento da água igual a 4,5 m/s (DNIT IPR 724, 2006). Em relação a geometria, com exceção dos bueiros de greide, foram determinadas seções retangulares.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Número N

O resultado do levantamento do tráfego segue representado na Tabela 1. Foi levantado um número total de 140 veículos no intervalo de 24 horas, divididos nas categorias Simples roda simples e tandem duplo (Mamute) e simples roda simples e simples roda dupla (Elefantinho, Linha Novo Horizonte e Linha Aeroporto). A partir da contagem do VDM, o VP foi especificado em 1.935.588 veículos para o tempo de projeto considerado e taxa de crescimento geométrica.

Tabela 1 - Contagem de veículos e determinação do VDM.

Linha	Classificação	Tipos de eixos	Quantidade
MAMUTE	3C	Simples roda simples (SRS) e tandem duplo (TD)	40
ELEFANTINHO	2C	Simples roda simples (SRS) e simples roda dupla (SRD)	11
NOVO HORIZONTE	2C		24
AEROPORTO	2C		65

Fonte: da Autora (2021).

Segundo o Portal UFLA, no ano de 2019, a UFLA possuía um total de 14.297 usuários do campus, sendo 12.950 alunos dos cursos de graduação e pós-graduação, e 1.347 funcionários, divididos entre docentes e técnicos administrativos. Considerando o levantamento de 140 veículos de uso coletivo, esse número está abaixo do necessário para atender o montante de pessoas que circulam diariamente pelo local.

Os resultados do Fator de Carga e Fator de Eixo estão contidos na Tabela 2. A partir da análise dos ábacos de conversão (Figura 1), é possível notar que os valores de fator de carga podem ultrapassar grandezas na casa da centena, uma vez que os ônibus e caminhões degradam as vias em maiores proporções devido as cargas elevadas que transportam e os eixos diferenciados (SZLACHTA, 2015). Assim, é possível perceber que os valores considerados para FC e FE nos cálculos deste trabalho são pequenos, devido a classificação de classe/tipo dos veículos que circulam pelo campus da UFLA e consequente distribuição de carga nos eixos seguindo essa classificação.

Tabela 2 - Determinação dos fatores de carga e fatores de eixo

Classe	Tipo de eixos	Fator de carga			Quantidade	% em relação ao total	Fator de Eixo
		6 tf	10tf	17 tf			
2C	SRS + SRD	0,30	4,00		100,00	71,43	4,30
3C	SRS + TD	0,30		9,00	40,00	28,57	9,30

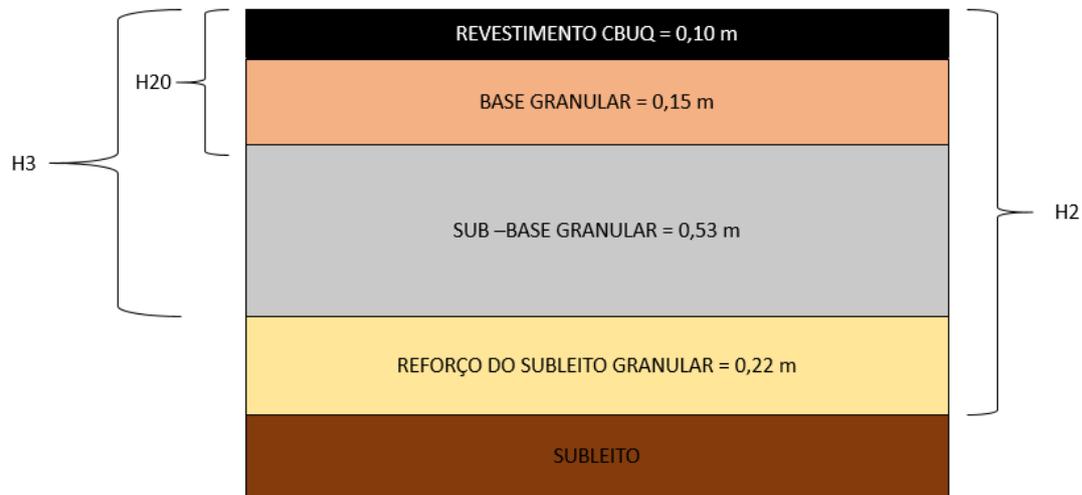
Fonte: da Autora (2021)

Por último, empregando a Equação 1 e os valores apresentados de VP, FC e FE, obteve-se o valor do número N igual a $1,20 \times 10^7$ repetição de carga do eixo padrão. O valor encontrado é compatível com um tráfego médio, onde a faixa de circulação mais requisitada prevê a passagem de ônibus ou caminhões em número de 50,00 a 400,00 por dia, conforme apresentado por Senço (2007) e o Método da Prefeitura Municipal de São Paulo – PMSP. Os veículos leves: motos, carros de passeio e pick-ups, não foram contabilizados pois como demonstrado no Quadro Carga legal por eixo (Quadro 8), estes não apresentam valores de carga em qualquer dos eixos, e assim, não influenciam na determinação do número N.

4.2 Espessura das camadas

Após determinação do número N, tem-se que a camada de revestimento de concreto betuminoso usinado a quente deve ter uma espessura igual a 10,00 cm, conforme demonstrado no Quadro 1 (DNIT IPR 719, 2006). De acordo com ISC's empregados, as demais alturas são iguais a: $H_2 = 1,10$ m, $H_3 = 0,88$ m e $H_{20} = 0,28$ m. Assim, as alturas calculadas para as respectivas camadas em associação com o coeficiente estrutural dos materiais granulares foram: base (B) = 0,15 m, sub-base (h_{20}) = 0,53 m e reforço do subleito (h_n) = 0,22 m, representadas conforme a Figura 7.

Figura 7 - Representação das espessuras das camadas



Fonte: do Autor (2021).

Apesar do número N encontrado não ser elevado, é possível perceber que as espessuras das camadas estão bem altas, uma vez que foi considerado um subleito com o menor valor de ISC recomendado pelo Método de dimensionamento para pavimentos flexíveis (DNIT IPR 719, 2006). Ou seja, o subleito não possui boa capacidade de suporte, sendo necessário que as camadas superiores a ele apresentem maior espessura para resistir as cargas impostas pelo tráfego.

O ideal seria que fosse realizado uma análise do solo na região em questão, para obtenção das características do subleito e assim evitar o subdimensionamento ou superdimensionamento do pavimento.

4.3 Sarjeta de Corte e Sarjeta de Aterro

Para a sarjeta de corte e de aterro, temos os resultados da vazão de projeto, coeficiente de escoamento, área de contribuição, base e altura discriminados na Tabela 3.

Tabela 3 - Dimensionamento das Sarjetas de Corte e Aterro

Tipo de Sarjeta	Vazão (m ³ /s/m)	C	Área de contribuição (m ²)	Base (m)	Altura (m)
Sarjeta de corte	0,62	0,81	18.480,00	1,00	0,15
Sarjeta de aterro	0,27	0,90	7.280,00	1,00	0,05

Fonte: da Autora (2021).

É possível perceber que a vazão de escoamento para a sarjeta de corte é 129% maior que a vazão de escoamento para a sarjeta de aterro, visto que nos trechos em corte a área de contribuição considerada é 153% maior que no trecho em aterro. Apesar do valor longitudinal utilizado para obtenção da área de contribuição ser o mesmo para ambas situações, referente aos 3 km de extensão da Avenida Central, o fator transversal difere entre as seções. Para os trechos em corte, foi considerado o somatório da largura da faixa de circulação adjacente a sarjeta com a projeção horizontal do talude de corte, enquanto nos trechos em aterro foi utilizado apenas a largura da faixa de circulação contígua a sarjeta de aterro.

Figura 8 - Perfil Transversal



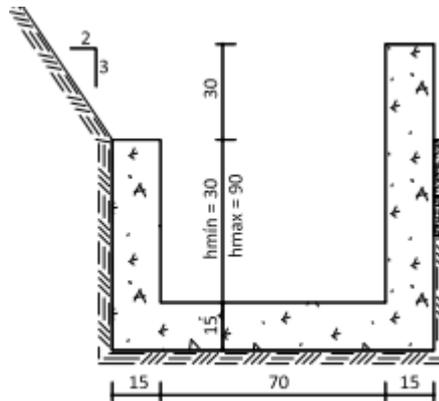
Fonte: Lee (2000)

O coeficiente de escoamento também possui diferentes valores para as diferentes seções, pois nos trechos em corte é necessário que se utilize uma média dos coeficientes de escoamento em relação ao material constituinte do talude (grama) e da faixa de circulação

(revestimento betuminoso), enquanto para o aterro apenas o coeficiente de escoamento do material utilizado na faixa de circulação será necessário.

De tal maneira, temos que a altura encontrada para a sarjeta de corte é três vezes maior que a altura da sarjeta de aterro, devido a vazão a ser escoada pela sarjeta de corte e a área de contribuição serem maiores. O valor considerado para a base da sarjeta foi de 1,00 m para ambas, em virtude de facilitar o sistema construtivo. De acordo com o Álbum de dispositivos-tipo de drenagem e obras de arte corrente do Estado de Santa Catarina (Diretoria de planejamento e projetos DPLA, 2013), as sarjetas retangulares devem possuir base de 1,00 m e altura mínima de 0,30 m, como indicado na Figura 9. Assim, os valores encontrados nos cálculos acima citados deverão ser ajustados para os valores mínimos.

Figura 9 - Dimensões para sarjeta retangular



Fonte: DPLA (2013).

4.4 Descidas de água

Uma vez que a descida de água foi considerada sem a presença de dissipadores, o resultado está apresentado na Tabela 4. Seu dimensionamento foi realizado apenas para o trecho em aterro, pois seria o trecho no qual a vazão a ser escoada derivaria de forma exclusiva de outros dispositivos de drenagem, não sendo contabilizado a vazão proveniente do escoamento superficial do solo (DNIT IPR 724, 2006).

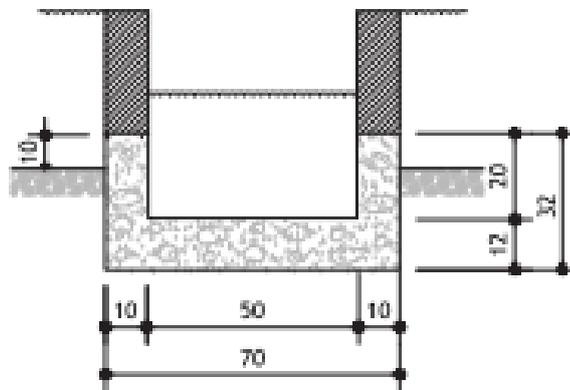
Tabela 4 - Dimensionamento descida de água

Vazão (m ³ /s)	Largura (m)	Altura (m)
0,27	0,70	0,35

Fonte: da Autora (2021).

Como a vazão a ser conduzida por esse dispositivo advém puramente da sarjeta de aterro, foi considerado o mesmo valor descrito na Tabela 3 para os cálculos, 0,27 m³/s. A dimensão da base foi pré-definida de modo a facilitar e otimizar o sistema construtivo e em conformidade com o apresentado no Projeto de drenagem de Parnamirim (DNIT, 2013) e ilustrado na Figura 10. O valor encontrado para altura das paredes laterais está adequado para garantir o confinamento da vazão a ser escoada e assim garantir a estabilidade do talude de aterro, de modo que este não sofra processos erosivos.

Figura 10 - Dimensionamento descida de água



Fonte: Projeto de drenagem de Parnamirim (DNIT, 2013)

4.5 Saídas de água

Para as saídas de água, foi necessário que o dimensionamento fosse feito para os dois casos possíveis, corte e aterro. Os resultados obtidos para o dimensionamento encontram-se na Tabela 5. No que diz respeito a vazão a ser coletada e a altura do fluxo de escoamento, foram considerados os respectivos valores de vazão a ser escoada pelas sarjetas de corte e aterro, 0,62 e 0,27 m³/s/m respectivamente, e para alturas, o mínimo recomendado pelo DPLA de Santa Catarina de 0,30 m.

Tabela 5 - Dimensionamento das saídas de Corte e Aterro

Tipo de Saída	Vazão (m ³ /s/m)	g (m ² /s)	Altura do fluxo (m)	K	Largura (m)
Saída de corte	0,62	9,81	0,30	0,20	6,02
Saída de aterro	0,27	9,81	0,30	0,20	2,72

Fonte: da Autora (2021).

O valor mínimo para essa largura de acordo com o Manual de Drenagem de Rodovias é de 7 vezes a largura da descida d'água, equivalente a 4,90 m, não sendo estipulado um valor máximo (DNIT IPR 724, 2006). De acordo com o trecho em aterro, o resultado obtido não está adequado, sendo necessário que este seja igualado ao valor mínimo recomendado.

4.6 Caixa coletora

O dimensionamento para a caixa coletora está demonstrado na Tabela 6. A vazão utilizada para os cálculos, 0,89 m³/s é resultado do somatório dos valores encontrados para a vazão da sarjeta de corte e sarjeta de aterro.

Tabela 6 - Dimensionamento da caixa coletora

Vazão (m ³ /s)	Altura (m)	C	Área útil (m ²)
0,89	1,00	0,60	0,34

Fonte: da Autora (2021).

A altura foi estabelecida em 1,00 m em acordo com o Caderno de Drenagem do DNTI Minas Gerais, que estabelece seções usuais para determinados dispositivos drenantes. Assim, a área útil foi calculada em 0,34 m². Ainda de acordo com o Caderno de drenagem, para uma altura de 1,00 m, e com a utilização de bueiros com diâmetro de 1,00 m acoplados ao aparelho, as dimensões de largura da caixa coletora devem ser de 1,00 m x 1,50 m, totalizando assim uma área útil de 1,50 m², como ilustrado no Quadro 9 e de classificação CCC-02.

Quadro 9 - Dimensões da caixa coletora de sarjeta

DIMENSÕES

TIPO	CCC-01		CCC-02	
DN	40 a 80		100 e 120	
H (m)	a	b	a	b
H=1,00	1,00	80	1,50	1,00
1,00<H=1,50	1,00	80	1,50	1,00
1,50<H=2,00	1,00	80	1,50	1,00
2,00<H=2,50	1,00	80	1,50	1,00
2,50<H=3,00	1,00	80	1,50	1,00
3,00<H=3,50	1,00	80	1,50	1,00

Fonte: Caderno de drenagem (DNIT MG)

4.7 Bueiros de greide

Por não apresentarem um dimensionamento específico, apenas considerações construtivas (DNIT IPR 724,2006), o valor do diâmetro foi considerado em 1,00 m, maior que o mínimo exigido de 0,80 m para facilitar as operações de limpeza e manutenção. Além disso, segundo o DPLA (2013), é recomendado que para bueiros com 1,00 m de diâmetro, a caixa coletora deve apresentar altura de 1,50 m, como representado no Quadro 10. Seguindo os parâmetros do Quadro 9, as larguras da caixa coletora permanecem as mesmas para a alteração de altura.

Quadro 10 - Dimensionamento caixa coletora de acordo com o bueiro

CAIXA
QUANTITATIVO

TIPO	ALTURA (cm)	CONCRETO CICLÓPICO (m³)	FORMA (m²)
BST Ø 80 cm	150	1,464	11,630
	200	1,964	14,630
	250	2,464	21,630
	300	2,964	26,630
	350	3,464	31,630
BST Ø 100 cm	150	1,380	11,630
	200	1,880	16,630
	250	2,380	21,630
	300	2,880	26,630
	350	3,380	31,630
BST Ø 120 cm	200	1,795	16,630
	250	2,295	21,630
	300	2,795	26,630
	350	3,295	31,630

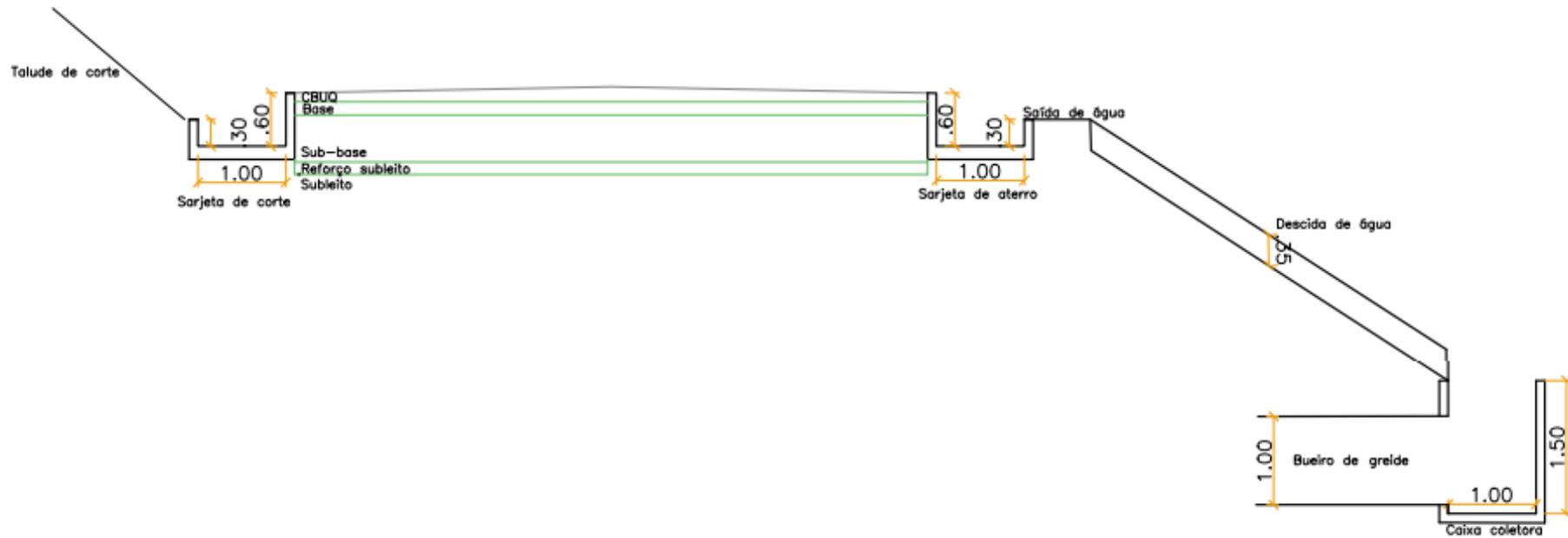
- CONCRETO CICLÓPICO: Fck ≥ 150 Kgf/cm².

Fonte: DPLA (2013).

4.8 Representação gráfica dos elementos dimensionados

Na Figura 11 a seguir, encontra-se representado em perfil transversal o pavimento e os elementos de drenagem superficial dimensionados para as seções de corte e aterro. Nota-se que no trecho em aterro há a utilização de mais dispositivos drenantes de maneira a assegurar a estabilidade do solo e evitar maiores danos a estrutura.

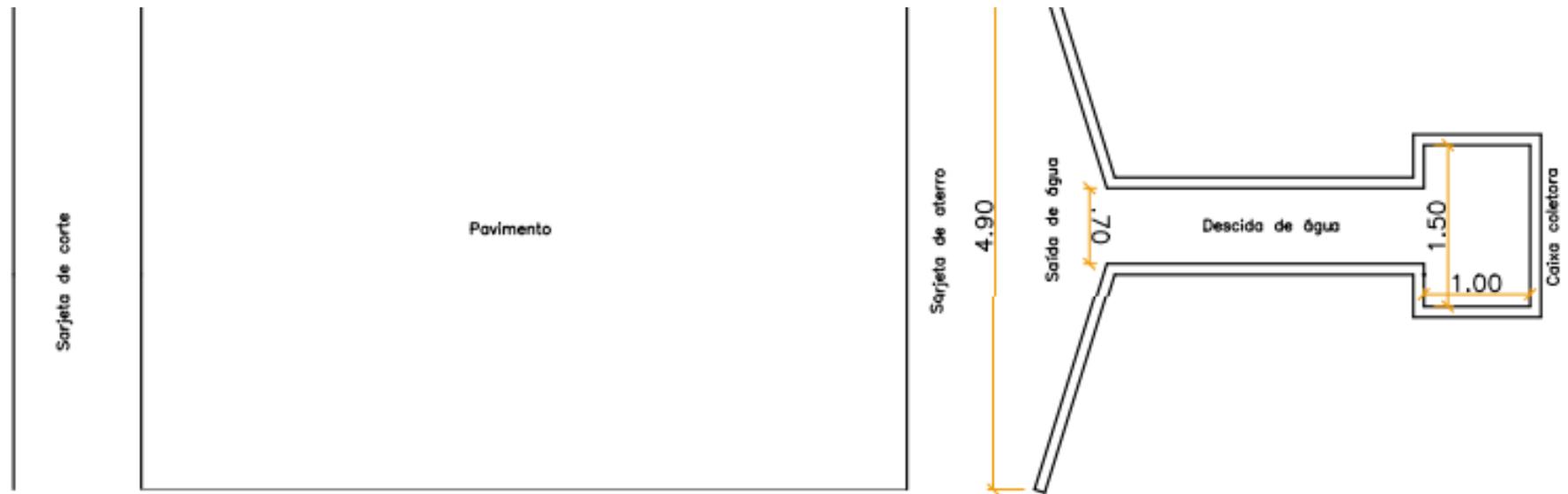
Figura 11 - Seção transversal dos trechos de corte e aterro



Fonte: da Autora (2021).

Na figura 12, temos a representação dos mesmos elementos em planta.

Figura 12 - Vista em planta dos trechos de corte e aterro



Fonte: da Autora (2021).

5. CONCLUSÃO

Por se tratar de um local com intenso fluxo de pessoas, as vias do campus da Universidade Federal de Lavras devem garantir o conforto e segurança ao usuário e estar sempre bem conservada para garantir seu pleno funcionamento.

Os resultados obtidos para o número N caracterizam o tráfego de veículos como médio. Devido a escolha do material do subleito apresentar baixo ISC, as espessuras obtidas para as camadas ficaram elevadas, com valores entre 0,10 m e 0,53 m, obtendo um valor total de 1,00 m.

Em relação aos aparelhos de drenagem superficial, os resultados do dimensionamento, em sua maioria, ficaram abaixo daqueles padronizados e recomendados por órgãos competentes como por exemplo as sarjetas de corte e aterro e a caixa coletora.

De maneira a assegurar tais características e após os pontos explanados fica evidente a necessidade da coleta de dados em campo, como informações topográficas, coleta e análise do solo da região, referências de materiais disponíveis, dados pluviométricos e contagem *in loco* dos veículos que transitam diariamente pelo trecho e suas particularidades. Tais pesquisas garantem a elaboração de um projeto adequado e capaz de atender aos usuários de maneira eficiente durante sua vida útil.

Além do projeto, é de extrema importância que a execução seja feita dentro dos padrões estabelecidos pelas instituições responsáveis, com a utilização de materiais adequados e seguindo todos os parâmetros determinados. Uma via bem projetada e realizada dentro dos modelos construtivos, desenvolve bem menos problemas prematuros e a manutenção periódica é um forte aliada na conservação da via.

Este trabalho visou explanar as diretrizes a serem seguidas para elaboração do dimensionamento do pavimento e aparelhos de drenagem superficial da Avenida Central do campus da Universidade Federal de Lavras. Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a contagem presencial de veículos que trafegam pela via, realização de ensaios a fim de determinar as características do solo e dimensionar as camadas de acordo com sua capacidade de suporte, levantamento topográfico do trecho e seu entorno e coleta de dados pluviométricos *in loco*.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, A.M., **Considerações sobre a drenagem superficial na vida útil de pavimentos rodoviários**. Tese de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BERNARDES, D. J.. **Recuperação de pavimentos flexíveis em áreas de tráfego pesado devido a implantação de lombadas eletrônicas**. Uberlândia: UNITRI, 2013.
- BERNUCCI, L.B., MOTTA LMG, CERATTI JAP, SOARES JB. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.
- DEMARCHI, L. C. **Adequação de estradas rurais**. Campinas: Coordenadoria de assistência técnica Integral, jul. 2003, 64 p. (Manual técnico, 77).
- DIPS, Diretoria de processos seletivos. **Mapa do campus UFLA – Alta resolução**. Disponível em: <http://www.dips.ufla.br/copese/upload/File/2012_1/PAS/MAPA_COPESE_PAS2012-1_Maior.jpg>. Acesso em: 06 de março de 2021.
- DNIT. **Caderno de drenagem – Caixa coletora de sarjeta em concreto**.
- DNIT. **Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários, escopos básicos/instruções de serviço, IPR 717**. 2. Ed. Rio de Janeiro, 2005.
- DNIT. **Glossário de termos técnicos rodoviários, IPR 700**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2017
- DNIT. **Manual de drenagem de rodovias, IPR 724** 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.
- DNIT. **Manual de Pavimentação, IPR 719**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006.
- DNIT. **Projeto de drenagem de Parnamirim - Projeto tipo descida de água de aterro tipo rápido – DAR**. 2013.
- Diretoria de planejamento e projetos. **Álbum de dispositivos-tipo drenagem e obras de arte corrente**. Governo do Estado de Santa Catarina, 2. Ed. 2013.
- FRANCO, F.A.C.P. **Método de Dimensionamento Mecânico-Empírico de Pavimentos Asfálticos – SisPav**. Tese de D.Sc. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.
- FERREIRA, J.B. **Apostila da disciplina de estradas**. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 102p., 2008.

LEAL, L.M.A.T. **Modelação Numérica e Metodologias de Dimensionamento Estrutural de Infraestruturas Rodoviárias e Ferroviárias: Estado da Arte e Estudo Comparativo**. Dissertação de Mestrado. Técnico Lisboa, Universidade de Lisboa, 2015.

LEE, S.H. **Projeto Geométrico de Estradas**, 2000.

MARQUES, G.L.O. **Notas de aula da disciplina pavimentação**. Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2006.

MASCARENHAS NETO, J.D. **Methodo para construir as estradas em Portugal**. 1790. Edição fac-similada, impressa em 1985 a partir do original do Arquivo-Biblioteca do ex-Ministério das Obras Públicas.

MEDINA, J., **Mecânica dos Pavimentos**. 1. ed. Rio de Janeiro-RJ, Editora UFRJ. 380 p., 1997.

MEDINA, J., MOTTA, L.M.G. **Mecânica dos pavimentos**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2005.

MIRANDA, J.C, TULCHINSKI, A., & MATTOS, A.B.G. **Ajustagem do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER – Análise crítica do método de projeto de pavimentos flexíveis do DNER**. 23ª Reunião anual de pavimentação, Vol. 2- Florianópolis – ABPv, 1988.

MOULTON, L.K. **Highway Subdrainage Design**. Report nº FHWA –TS-80.224- Federal Highway Administration, 1980.

MOTTA, L.M.G. **Noções de Mecânica dos Pavimentos**. Laboratório de Geotecnia - Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2003

MOTTA, L. M. G. **Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis; Critério de confiabilidade e ensaios de cargas repetidas**. 366p. Tese (Doutorado em ciências em engenharia civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.

OLIVEIRA, L.F.C. **Chuvas extremas no Brasil: modelos e aplicações**. Editora UFLA, 388p., 2019.

PAIXÃO, M.P., CORDEIRO, C.C.C., CORREIA, M.C.N. **Pavimentos semirrígidos: prevenção e tratamento da reflexão de trincas**. XVI Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, UNIFACS, 2017.

Portal de Tecnologia UFPR. Capítulo 01 – Número N. Disponível em: <<http://www.tecnologia.ufpr.br/portal/dtt/wp-content/uploads/sites/12/2016/08/NUMERO-N.pdf>> Acesso em: 06 de março de 2021.

Portal UFLA. **UFLA em números**. Disponível em: <<https://ufla.br/aceso-a-informacao/10-institucional/sobre-a-ufla/12848-ufla-em-numeros>>. Acesso em 17 abril de 2021.

Prograd UFLA. **Horário de ônibus**. Disponível em: < <https://prograd.ufla.br/horarios-de-onibus>>. Acesso em 06 de março de 2021.

ROSSI, A.C. **Etapas de uma obra de pavimentação e dimensionamento para uma via na Ilha do Fundão**. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2017.

SANTIAGO, L.S., **Contribuições ao desenvolvimento do novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos no Brasil**. UFC, Ceará, CE, Brasil, 2015.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 1ªed. São Paulo: Pini, v.1, 1997.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2ªed. São Paulo, v.1. São Paulo, 2007.

SOUZA, M.L.de., **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. 3 ed. revisada e atualizada. Rio de Janeiro: IPR, 34 p., 1981.

SUZUKI C.Y., AZEVEDO A.M., JÚNIOR F.I.K. **Drenagem subsuperficial de pavimentos conceitos e dimensionamento**. São Paulo, Oficina de Textos, 2013.

SZLACHTA, D. **Determinação do fator de equivalência de carga no eixo especial**. Trabalho de conclusão de curso, UFSM, Santa Maria, RS. 2015.