

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS – *CAMPUS* AVANÇADO PIUMHI
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Leonardo Santos Cruz

**TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO E RECUPERAÇÃO DE ESTRADAS NÃO
PAVIMENTADAS – ESTUDO DE CASO EM CAPITÓLIO-MG**

Piumhi - Minas Gerais

2021

Leonardo Santos Cruz

**TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO E RECUPERAÇÃO DE ESTRADAS NÃO
PAVIMENTADAS – ESTUDO DE CASO EM CAPITÓLIO-MG**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Dr. Pedro Luiz Teixeira de Camargo

Coorientador: Professor Dr. Felipe da Silva Alves

Piumhi - Minas Gerais

2021

C957t Cruz, Leonardo Santos.

Técnicas de manutenção e recuperação de estradas não pavimentadas : estudo de caso em Capitólio-MG [manuscrito] / Leonardo Santos Cruz. – 2021.
107 f. il.

Orientador: Pedro Luiz Teixeira de Camargo.

Coorientador: Felipe da Silva Alves.

Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus Avançado Piumhi*, 2021.

1. Estradas vicinais - acesso. 2. Drenagem – engenharia civil. 3. Infraestrutura – engenharia civil. 4. Economia – engenharia civil. 5. Estradas de terra – projetos e construção I. Camargo, Pedro Luiz Teixeira de. II. Alves, Felipe da Silva. III. Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus Avançado Piumhi*. IV. Título.

CDD 625

Catálogo: Andreia Cristina Damasceno - CRB-6/1974



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Avançado Piumhi
Diretoria de Ensino
Docentes Campus Avançado Piumhi
Rua Severo Veloso 1880 - Bairro Bela Vista - CEP 37925-000 - Piumhi - MG
(37)3371-3353 - www.ifmg.edu.br

DECLARAÇÃO

Leonardo Santos Cruz

TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO E RECUPERAÇÃO DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS – ESTUDO DE CASO EM CAPITÓLIO-MG

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 10/12/2021 pela banca examinadora.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pedro Luiz Teixeira de Camargo

Prof. Dr. Felipe da Silva Alves

Prof. Dra. Carla Cristiane Silva

Prof. Livia Caroline Pereira Silva

Piumhi, 15 de dezembro de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Luiz Teixeira de Camargo, Professor**, em 15/12/2021, às 11:24, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Carla Cristiane Silva, Professora**, em 15/12/2021, às 11:44, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Felipe da Silva Alves, Professor**, em 15/12/2021, às 14:01, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Livia Caroline Pereira Silva, Professora**, em 15/12/2021, às 16:25, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1040219** e o código CRC **9FBE562C**.

23715.001051/2021-31

1040219v1

AGRADECIMENTOS

Agradeço a mim por ter perseverança, calma e capacidade para concluir mais essa etapa da minha vida, por ter calma nos momentos difíceis que não foram poucos.

Quero agradecer a Deus por ter me abençoado com capacidade intelectual, física e financeira para cumprir com meus objetivos durante a graduação.

Também quero agradecer imensamente aos meus pais Adriana e Rubens pelo apoio emocional, financeiro, além dos diversos conselhos ao longo do curso.

Agradeço também a minha namorada, Mariane, pelo apoio em todos os momentos desta jornada.

Agradeço a todos os demais familiares: meu irmão Marcos, meus avós, tias e tios, padrinhos e madrinhas, pelo apoio durante essa caminhada.

Manifesto gratidão aos meus colegas que tornaram a caminhada mais agradável e também aos professores por compartilhar seu conhecimento.

Quero agradecer ao meu orientador e coorientador e também aos demais membros do Grupo de Pesquisa em Ciências Ambientais, Econômicas e Sustentabilidade do IFMG – Campus Piumhi, bem como a diretoria de pesquisa e a direção do Campus pelo apoio concedido a todos.

RESUMO

As estradas são estruturas criadas pelo homem desde a época em que foi estabelecido o conceito de sociedade. Elas têm como principais objetivos a conexão entre dois ou mais pontos, possibilitando o transporte de pessoas e mercadorias, além do acesso a serviços variados, sendo assim uma importante ferramenta para a sociedade moderna. O presente trabalho tem como objetivo mostrar técnicas de manutenção e recuperação da faixa de rolagem em estradas vicinais não pavimentadas, além de apresentar um estudo de caso feito na cidade de Capitólio - MG, na região do Ambrósio, em que os métodos mostrados foram aplicados. A metodologia de pesquisa utilizada foi uma combinação de pesquisa exploratória e descritiva. Como resultados, são apresentados vários sistemas de manutenção e recuperação de estradas não pavimentadas, se destacando entre eles os sistemas de drenagem e o de conformação adequada da pista de rolamento. Adicionalmente, são mostrados possíveis erros durante a execução da intervenção estudada, em Capitólio - MG. Como conclusão, pode-se dizer que existem várias formas de efetuar a recuperação e manutenção das estradas vicinais e tipos de problemas a que estão sujeitas. Além disso, é necessário maior investimento do poder executivo municipal nos locais dotados deste tipo de infraestrutura.

Palavras chave: Estradas vicinais – acesso, Drenagem – engenharia civil, Infraestrutura – engenharia civil, Economia – engenharia civil, Estradas de terra – projetos e construção

ABSTRACT

Roads are structures created by man since the time when the concept of society was established. They have as main objectives the connection between two or more points, enabling the transport of people and goods, as well as access to a variety of services, thus being an important tool for modern society. The present work aims to show techniques for maintenance and recovery of the carriageway on unpaved side roads, in addition to presenting a case study carried out in the city of Capitólio - MG, in the region of Ambrósio, in which the methods shown were applied. The research methodology used was a combination of exploratory and descriptive research. As a result, several maintenance and recovery systems for unpaved roads are presented, among which the drainage systems and the adequate conformation of the carriageway stand out. Additionally, possible errors are shown during the execution of the studied intervention, in Capitólio - MG. In conclusion, it can be said that there are several ways to carry out the recovery and maintenance of the local roads and types of problems to which they are subject. In addition, greater investment by the municipal executive power is needed in places with this type of infrastructure.

Key words: Side roads – access, Drainage – civil engineering, Infrastructure – civil engineering, Economy – civil engineering, Unpaved roads – design and construction

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Trecho de estrada União Indústria.....	16
Figura 2: Trecho de estrada vicinal localizado em Ambrósio, Capitólio - MG.....	16
Figura 3: Trecho de estrada vicinal em condições precárias na Serra da Canastra em Minas Gerais.....	17
Figura 4: Imagem da Cachoeira do Ambrósio em Capitólio - MG.....	22
Figura 5: Imagem do Morro do Chapéu em Capitólio - MG.....	23
Figura 6: Localização geográfica da região de Capitólio-MG.....	23
Figura 7: Imagem de Satélite da região do estudo de caso em Capitólio - MG.....	24
Figura 8: Mapa das estradas do estudo de caso em Capitólio - MG.....	25
Figura 9: Matriz de transportes no Brasil (2014).	31
Figura 10: Extensão das rodovias no Brasil (2019).....	32
Figura 11: Trecho de estrada com ondulações, localizado na estrada para a Cachoeira da Capivara em Capitólio - MG.	35
Figura 12: Trecho de estrada com poeira, localizado em Capitólio - MG na região do Ambrósio.....	36
Figura 13: Trecho de estrada com sulcos, localizado em Capitólio - MG.....	40
Figura 14: Trecho de terreno com erosão do tipo ravina, localizado em São Pedro - SP.	41
Figura 15: Trecho de terreno com erosão do tipo voçoroca, localizado em São Pedro - SP.....	41
Figura 16: Trecho de estrada com erosão, localizado na comunidade do Ambrósio em Capitólio - MG.	42
Figura 17: Trecho de estrada com buraco e afundamento de trilha de roda.....	43
Figura 18: Trecho de estrada com atoleiro.....	44
Figura 19: Trecho de estrada com areiões, localizado na comunidade do Ambrósio em Capitólio - MG.	45
Figura 20: Seção transversal abaulada e encaixada.....	46
Figura 21: Seção transversal em calha.....	46
Figura 22: Seção transversal mista.....	46
Figura 23: Motoniveladora no centro da cidade de Capitólio - MG.....	48

Figura 24: Rolo Compactador pé de carneiro no centro da cidade de Capitólio - MG.	49
Figura 25: Retroescavadeira.	50
Figura 26: Caixa de captação localizada na estrada do Ambrósio em Capitólio - MG.	52
Figura 27: Barragem de captação localizada na estrada do Ambrósio em Capitólio - MG.	53
Figura 28: Modelo de sangra.....	56
Figura 29: Modelo de sangra com auxílio de bueiro.....	57
Figura 30: Modelo de sangra com auxílio de passagem molhada.	58
Figura 31: Exemplo de sangra com auxílio de passagem molhada na estrada do Ambrósio.	59
Figura 32: Exemplo de sangra com auxílio de bueiro na estrada do Ambrósio.....	59
Figura 33: Exemplo de dissipador de energia.	60
Figura 34: Exemplo de dissipador instalado na Estrada do Ambrósio, no trecho do Morro do Chapéu.	61
Figura 35: Teste de umidade in loco.	63
Figura 36: Imagem da estrada do Ambrósio onde ocorreu o afundamento do greide.	64
Figura 37: Exemplo de reconformação adequada da seção transversal da via usando a motoniveladora.	65
Figura 38: Exemplo de conformação adequada da seção transversal da via.	67
Figura 39: Imagem de antes, no momento da intervenção no trecho principal do Ambrósio.	71
Figura 40: Imagem depois da intervenção no trecho principal do Ambrósio.	72
Figura 41: Imagem antes, no momento da intervenção no trecho principal do Ambrósio.	74
Figura 42: Imagem após a intervenção no trecho principal do Ambrósio.	75
Figura 43: Imagem antes, no momento da intervenção no trecho principal do Ambrósio.	77
Figura 44: Imagem atual, após a intervenção, no trecho principal do Ambrósio.	78
Figura 45: Imagem antes, no momento da intervenção no trecho principal do Ambrósio.	79

Figura 46: Imagem atual, após a intervenção, no trecho principal do Ambrósio.	80
Figura 47: Imagem antes, no momento da intervenção no trecho Morro do Chapéu do Ambrósio.	82
Figura 48: Imagem atual, após a intervenção, no trecho Morro do Chapéu do Ambrósio.	83
Figura 49: Imagem antes, no momento da intervenção no trecho Morro do Chapéu do Ambrósio.	84
Figura 50: Imagem atual, após a intervenção, no trecho Morro do Chapéu do Ambrósio.	85
Figura 51: Imagem antes, no momento da intervenção no trecho Morro do Chapéu do Ambrósio.	87
Figura 52: Imagem atual, após a intervenção, no trecho Morro do Chapéu do Ambrósio.	88
Figura 53: Imagem antes, no momento da intervenção no trecho Morro do Chapéu do Ambrósio.	89
Figura 54: Imagem atual, após a intervenção, no trecho Morro do Chapéu do Ambrósio.	90
Figura 55: Imagem antes, no momento da intervenção no trecho laticínio do Ambrósio.	92
Figura 56: Imagem atual, após a intervenção, no trecho laticínio do Ambrósio.	93
Figura 57: Imagem antes, no momento da intervenção no trecho Facãozinho do Ambrósio.	94
Figura 58: Imagem atual, após a intervenção, no trecho Facãozinho do Ambrósio. .	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

BBC – British Broadcasting Corporation

CE – Ceará

CFT – Confederação Nacional dos Transportes

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

DER – Departamento Estadual de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EMATER-MG – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais

EUPS – Equação Universal de Perdas de Solo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MG – Minas Gerais

PMC – Prefeitura Municipal de Capitólio

PR – Paraná

USLE – Universal Soil Loss Equation

mm – Milímetros

m – Metros

MJ – Megajoules

m³ – Metros cúbicos

m² – Metros quadrados

t – Tonelada

ha – Hectare

LISTA DE SÍMBOLOS

% Porcentagem

* Multiplicação

= Igual

\geq Maior ou igual

\leq Menor ou igual

$\sqrt{\quad}$ Raiz Quadrada

/ Divisão

A perda média anual de solo por unidade de área

R Erosividade da chuva

K Erodibilidade do solo;

L Comprimento da vertente;

S Declividade da vertente;

C Uso e manejo do solo;

P Práticas conservacionistas.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	19
2.1	Objetivos Gerais	19
2.2	Objetivos específicos	19
3	METODOLOGIA	20
3.1	Descrição do Local	21
4	JUSTIFICATIVA	27
5	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
5.1	Estradas Vicinais	29
5.2	Desafios para a manutenção e recuperação de estradas vicinais	33
5.3	Defeitos em estradas vicinais	34
5.3.1	Tipos de defeitos em estradas não pavimentadas	35
5.3.2	Equipamentos utilizados na manutenção de estradas vicinais	47
5.3.3	Soluções usadas em estradas vicinais para manutenção e recuperação 51	
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
6.1	Estudo de Caso: Sub-bacia do Ambrósio em Capitólio - MG	68
6.1.1	Contextualização da estrada	68
6.1.2	Análise da situação atual da estrada	70
7	CONCLUSÕES	97
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
	REFERÊNCIAS	101
	ANEXO	106

1 INTRODUÇÃO

As estradas são obras de engenharia que proporcionam o acesso econômico e rápido de homens e mercadorias aos pontos mais remotos de uma nação (OLIVEIRA, 2016). De acordo com Oliveira (2016), elas são de grande utilidade para os indivíduos, sociedades e economias de qualquer período da história. Assim, com o passar dos anos, o transporte pela via terrestre transformou-se em um dos principais meios para transporte de longa e média distância.

A concepção de estrada, para Almeida (2006), é de que ela é um caminho público, tendo como objetivo a circulação de veículos para fora do perímetro das cidades ou da zona rural dos municípios.

De acordo com Oliveira (2016), existem registros de que as primeiras obras deste tipo foram feitas a partir de trilhas usadas por povos pré-históricos, que se localizavam no Sudoeste da Ásia, perto dos mares Negro, Cáspio, Mediterrâneo e do Golfo Pérsico.

Segundo Lima (2019), os romanos tiveram um bom resultado com a implementação de estradas. Eles construíram uma extensa rede desses elementos que cobriam todo o seu império. Para conseguir isso, naquela época foram feitas várias obras de arte para obter o melhor traçado possível, como pontes e túneis.

Segundo dados de Lima (2019), os romanos utilizavam um sistema de pavimentação que funcionava muito bem para uma época tão remota. Para isso, eles faziam a estrada de forma que o traçado principal era disposto em camadas de pedras de modo que as camadas superiores de menores dimensões enchessem as inferiores, preenchendo assim seus vazios e evitando que o solo se desprendesse do traçado principal com o tempo.

No Brasil, segundo dado do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2020), as estradas pavimentadas começaram a ser construídas apenas no século XIX, e somente em 1928 foi inaugurada a primeira rodovia pavimentada, a Rio-Petrópolis ou estrada Washington Luís, que hoje é pertencente ao trecho da BR-040.

Já nas décadas de 1940 e 1950, a construção destas obras foi impactada por quatro fatores principais. Segundo Oliveira (2016), eles são:

- a) fundo Rodoviário Nacional (lei Joppert), em 1946, criando um imposto sobre combustíveis líquidos que objetivava financiar a construção de estradas pelos estados e a União;
- b) criação dos Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem (DER's) e Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) em 1937;
- c) fundação da Petrobras, em 1954, que passou a produzir materiais para revestimento como o asfalto em grande quantidade;
- d) implantação da indústria automobilística nacional, em 1957.

As estradas rurais fogem um pouco do conceito de rodovia, pois geralmente não são pavimentadas, sendo constituídas na grande maioria das vezes somente pelo solo local, conforme Alves *et al.* (2019).

As rodovias não pavimentadas, quando comparadas com as primeiras obras deste tipo, que foram construídas nos primórdios da humanidade, são bem semelhantes, pois são estradas geralmente feitas pelo movimento de animais ao longo do traçado, ou pelo fluxo de pessoas e veículos nesses locais. Esse tipo de trilha é considerado muito antigo e geralmente não existe planejamento prévio para a sua construção (ALVES *et al.*, 2019).

Com isso, conclui-se que as estradas vicinais ou não pavimentadas se assemelham às rodovias antigas. Como coloca o DNIT:

Apesar da União Indústria ter sido construída no século XIX, Fernão Dias, grande empreendedor, iniciou, em 1674, a expedição que seria o passo inicial para povoamento do território mineiro. Criou então um caminho provisório para os bandeirantes, o que seria o "embrião" da União Indústria (DNIT, 2020, p.1).

Nas Figuras 1 e 2, são mostradas uma estrada antiga conhecida como " a primeira estrada de rodagem do Brasil ", ou " Estrada União Indústria " e, logo abaixo, um trecho de estrada vicinal mais atual. Pode-se perceber que nenhuma delas possui revestimento primário, sendo muito semelhantes, ou seja, vários anos se passaram e

as estradas não pavimentadas pouco se alteraram em relação ao seu método construtivo.

Figura 1: Trecho de estrada União Indústria.



Fonte: DNIT (2020).

Figura 2: Trecho de estrada vicinal localizado em Ambrósio, Capitólio - MG.



Fonte: Autor (2020).

Ao longo dos anos, os métodos de construção das vias não pavimentadas evoluíram de forma lenta. Isto acontece porque este tipo de estrada, com o crescimento dos centros urbanos, desaparece com o passar dos anos, sendo então pavimentadas para poderem atender um fluxo maior de veículos, inclusive mais pesados.

O problema maior é que, até elas serem pavimentadas, a população fica refém da condição desse tipo de construção, que na maioria das vezes se encontra com falta de manutenção, criando transtornos para a população que vive nessas áreas.

Outro ponto importante das estradas vicinais é que seu uso está associado ao escoamento de produtos, animais, pessoas para os grandes centros, sendo necessárias boas condições para o uso da população. Como é possível observar na Figura 3, isso se torna um grande contratempo para o povo.

Figura 3: Trecho de estrada vicinal em condições precárias na Serra da Canastra em Minas Gerais.



Fonte: Autor (2018).

Almeida (2019) define as estradas vicinais da seguinte forma:

- a) fazem a ligação entre dois lugares, localidades ou povoações próximas;
- b) são de carácter secundário;
- c) na maioria das vezes tem jurisdição municipal;
- d) em geral, não possuem asfaltamento;
- e) muitas vezes ficam intrafegáveis em determinadas épocas do ano.

Neste trabalho, são abordados os problemas mais comuns em estradas vicinais, soluções para o traçado, problemas a que estas vias estão sujeitas e materiais que podem ser utilizados para o seu revestimento primário. Adicionalmente, será mostrado um estudo de caso da manutenção da estrada do Ambrósio, em Capitólio - MG, onde foram utilizadas várias técnicas que serão aqui descritas e, a partir daí, será feita a apresentação do estado atual da via com pontos a serem melhorados, além de outras possíveis intervenções.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho é mostrar os métodos descritos na bibliografia sobre a manutenção e recuperação de estradas não pavimentadas e os aplicados em um estudo de caso feito na bacia do Ambrósio em Capitólio - MG

2.2 Objetivos específicos

Fazer uma comparação entre o proposto pelo referencial bibliográfico e o aplicado em uma situação real.

Citar possíveis falhas ou acertos na aplicação destes métodos.

Criação de um manual para recuperação e manutenção de estradas vicinais e rodovias não pavimentadas

3 METODOLOGIA

Partiu-se do pressuposto de que, para apresentar resultados condizentes com a realidade, seria necessária uma combinação de pesquisa exploratória com a descritiva: Usar parte do assunto existente na área e fazer a organização dele conforme os tipos de variáveis existentes nas vias, como problemas, umidade, declividade, seção transversal, tipo de material do leito, etc. Isso visa oferecer informações e orientar formulações de hipóteses de estudos para outros autores no futuro, além da explicação dos fenômenos que estão envolvidos as estradas não pavimentadas.

Para a elaboração deste trabalho foi utilizado como fonte a pesquisa bibliográfica, que busca analisar os métodos, soluções e problemas apresentados em estudos parecidos e descobrir se algum autor já respondeu às perguntas que seriam propostas pela pesquisa, enriquecendo assim as informações a respeito do tema do estudo. Essa etapa foi feita com o auxílio de livros, dissertações, artigos, resumos, manuais, livros, etc.

A pesquisa utilizou como fonte para a revisão bibliográfica trabalhos da área de estradas, solos e preservação ambiental.

De posse do referencial teórico, foi feito um levantamento dos tipos de problemas mais encontrados em estradas vicinais, assim como seus efeitos a longo prazo e possíveis causas.

Além disso, com base nos dados, foram extraídas as soluções que os autores apresentavam para cada problema. Assim, foi feita uma seleção das informações mais pertinentes apresentadas por cada um deles.

Foi proposta também, como forma de apresentação dos resultados da pesquisa, a comparação da revisão bibliográfica utilizada com um estudo de caso feito em Capitólio - MG, de maneira que a pesquisa apresentasse resultados qualiquantitativos, ou seja, de forma que ela não tratasse apenas de números, mas mostrasse o que esses números realmente significam para o leitor e também o que a aplicação dos dados de forma prática teria como resultado. Isso também mostraria os possíveis erros que às vezes não ficam bem claros na bibliografia disponível. Este tipo de comparação é de grande ajuda no futuro para evitar erros do passado,

proporcionando mais segurança na aplicação dos métodos, pois estes estariam compatibilizados de acordo com as variáveis do traçado.

3.1 Descrição do Local

O estudo de caso apresentado neste trabalho foi feito no município de Capitólio - MG. O motivo da escolha deve-se ao fato da familiaridade com o tema proposto neste trabalho, além de ter sido um projeto em que o autor participou de algumas partes.

Capitólio é uma cidade do interior de Minas Gerais, cercada pelo lago que se formou após a construção da Usina Hidrelétrica de FURNAS concluída em 1963. Sua paisagem é constituída de montanhas e lagos, além de belas cachoeiras com águas cristalinas (Prefeitura Municipal de Capitólio, 2021).

É uma cidade pequena. Segundo o último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), possui 8663 habitantes, distribuídos em grande parte pela zona rural. Devido a este fato, a maioria de suas vias é estrada vicinal, ou seja, sem revestimento.

Como é de interesse de muitos, a administração municipal em conjunto com órgãos como a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), Agência Nacional de Águas (ANA), Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais (EMATER - MG) e o Setor de Agricultura, Pesca e Meio Ambiente do município, decidiu fazer uma revitalização da área chamada de Ambrósio, que consiste em uma bacia composta por vários córregos de onde a cidade retira a água que é utilizada para o consumo dos habitantes da área urbana.

Para isso, foram feitas várias ações na região e uma delas consistia na recuperação das estradas, já que as vias, do jeito que se encontravam, acabavam assoreando o leito dos córregos devido à declividade, ao tipo de material do solo e à proximidade com os corpos d'água.

Nessa região, são desenvolvidas várias atividades, como o plantio de cana-de-açúcar e de uva, pecuária, indústrias de laticínios e produção de cachaça, locais de hospedagem para turistas, por exemplo *campings* e casas de veraneio (Setor de Agricultura e Meio Ambiente de Capitólio, 2020), além de alguns pontos turísticos da

cidade, como a Cachoeira do Ambrósio e Morro do Chapéu mostrados nas Figuras 4 e 5.

Figura 4: Imagem da Cachoeira do Ambrósio em Capitólio - MG.



Fonte: Flickr (2001).

Figura 5: Imagem do Morro do Chapéu em Capitólio - MG.



Fonte: Autor (2019).

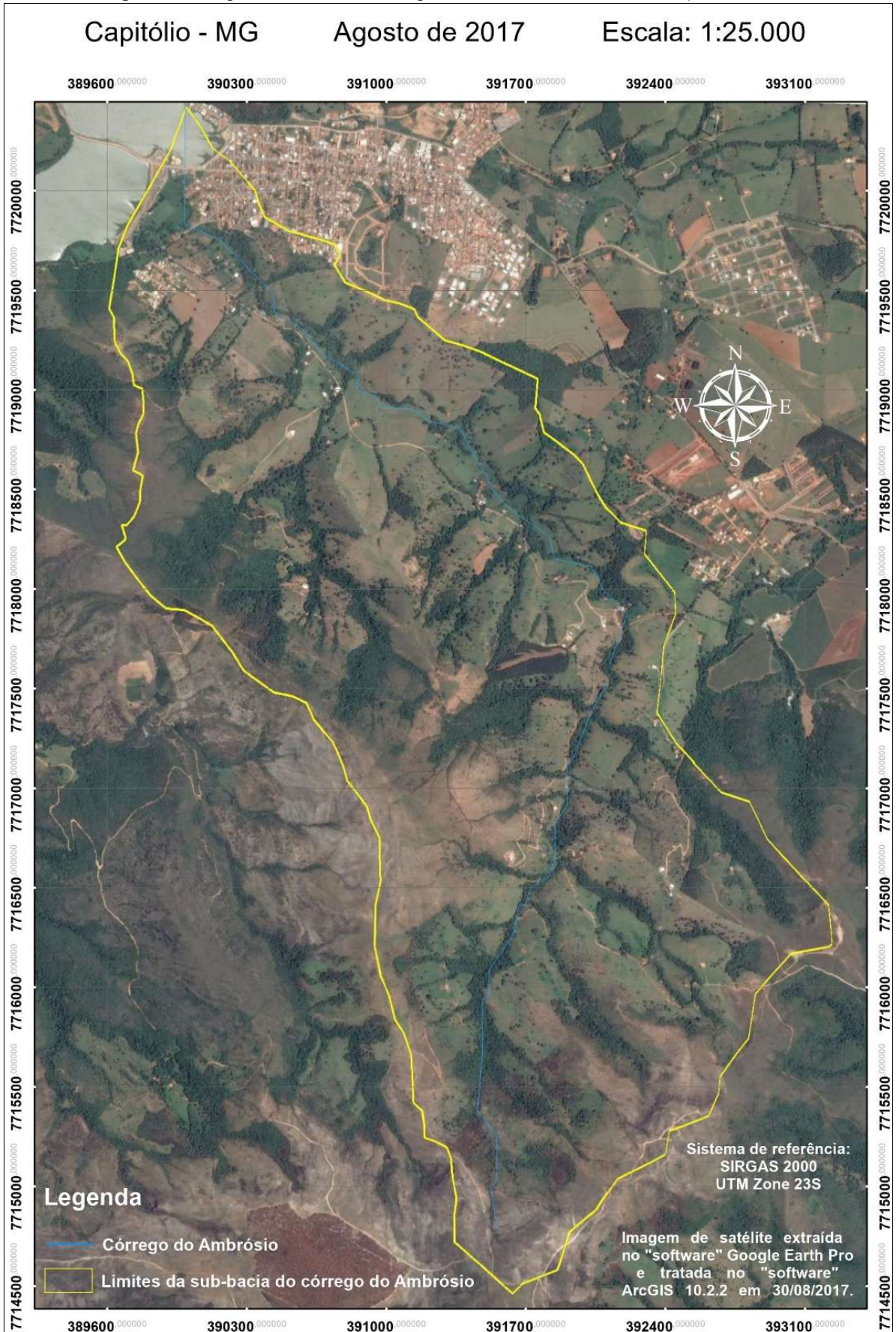
Na Figura 6, está em destaque a cidade de Capitólio no estado de Minas Gerais, e na figura 7 é mostrado um mapa da região de estudo, localizada praticamente ao lado da zona urbana do município, e é de lá que acontece o escoamento de vários produtos provenientes da agricultura familiar e das indústrias da região, em especial laticínios (Setor de Agricultura e Meio Ambiente de Capitólio, 2020).

Figura 6: Localização geográfica da região de Capitólio-MG.



Fonte: Streetmap (2021).

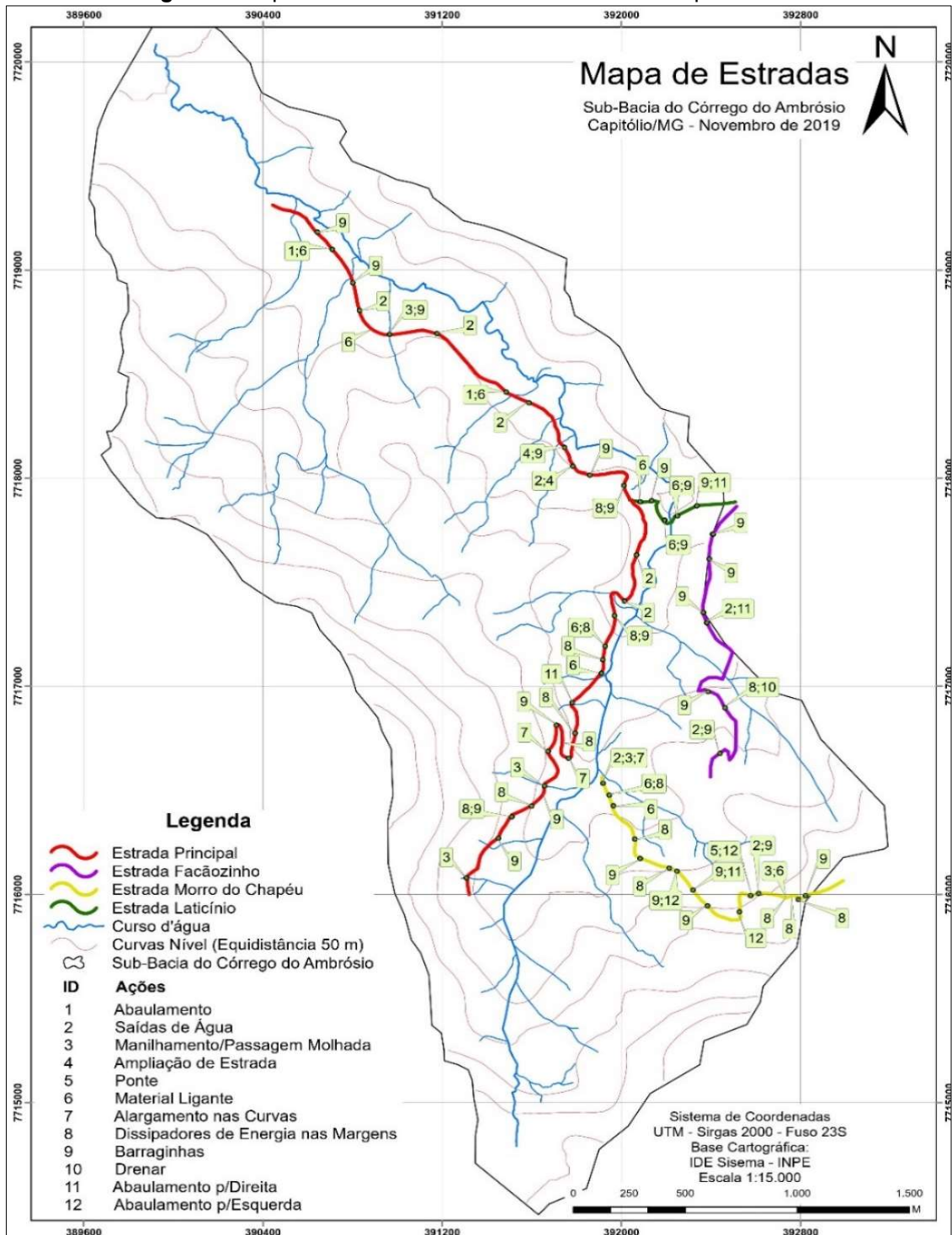
Figura 7: Imagem de Satélite da região do estudo de caso em Capitólio - MG.



Fonte: Arquivo da Prefeitura Municipal de Capitólio, Setor de Agricultura e Meio Ambiente (2017).

Na Figura 8, estão descritos os trechos em que foram feitas manutenções durante o projeto. Nesses locais, foram instalados diversos sistemas como forma de retirar a água da chuva do seu eixo, sendo estas estradas de grande importância para a região.

Figura 8: Mapa das estradas do estudo de caso em Capitólio - MG.



Fonte: Arquivo da Prefeitura Municipal de Capitólio, Setor de Agricultura e Meio Ambiente (2019).

O primeiro passo para a pesquisa foi analisar o que a bibliografia dizia sobre o assunto. Para isso, foram consultados artigos e dissertações, manuais, livros e aulas. Destaca-se que os materiais de base para essa investigação foram de difícil acesso, existindo uma base de informações enorme sobre o assunto tratando das suas mais diferentes variáveis, porém sendo necessário filtrar essas informações e separá-las, pois são divididas em vários temas, como por exemplo o maquinário que é utilizado neste tipo de empreendimento, os tipos de solo mais problemáticos, os problemas relacionados à falta de drenagem adequada, a interferência da declividade do terreno, a interferência do tipo de tráfego pelo local, os tipos de soluções aplicadas em outras regiões.

Depois que as informações foram coletadas, foi feita uma análise minuciosa sobre quais dados seriam essenciais para a pesquisa e, em seguida, teve início a construção do referencial teórico, elaborado com base em todas essas informações.

Com o objetivo de mostrar um pouco a aplicação das técnicas demonstradas nesses dados coletados, houve a inserção do estudo de caso em algumas destas técnicas usadas, com uma análise comparativa entre elas e o que diz a bibliografia, a fim de levantar discussões para temas futuros de pesquisa.

4 JUSTIFICATIVA

Este trabalho se justifica pela lacuna na parte de estudos sobre a manutenção e recuperação de estradas vicinais. Este tema, em específico, carece de material para consulta, se encontrando desatualizado, pois, com o passar dos anos, várias tecnologias foram implementadas.

Nedel *et al.* (2017) concluíram que a maior parte das metodologias usadas na construção e manutenção de rodovias não pavimentadas é antiga ou seja, de épocas em que as solicitações (ou esforços mecânicos no pavimento) do tráfego eram infinitamente menores quando comparadas aos parâmetros e características do fluxo viário atual, levando-se em conta a capacidade de transporte de carga dos caminhões de hoje em dia, sendo necessário que os métodos sejam atualizados, a fim de garantir uma vida útil maior para essas vias, além de fornecer segurança para o condutor que utiliza essas obras.

Concomitante a isso, de acordo com o observado no site da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2021), o Brasil não tem uma metodologia oficial de avaliação para este tipo de estrada, como uma norma regulamentadora.

Outro problema encontrado é o de se utilizar estudos feitos em outras regiões. De acordo com Matos *et al.* (2017), é necessária uma investigação prévia da área em que será implementada a estrada, pois cada solo tem uma característica e, às vezes, uma solução usada em outro lugar pode apresentar resultados diferentes no novo local.

O trabalho que aqui se apresenta serve de guia para a manutenção de estradas vicinais, obras que são de extrema importância para municípios interioranos, pois é a partir delas que ocorre o escoamento da produção agroindustrial da zona rural para as grandes cidades ou indústrias, de onde os produtos passarão por processos de industrialização ou lapidação, aumentando o seu valor agregado, a qualidade e também auxiliando na criação de outros produtos para serem comercializados com a população.

De acordo com Baesso *et al.* (2003), os recursos que são desembolsados para manter o cidadão nas regiões urbanas são muito maiores do que aqueles que o

governo poderia gastar para dar condições adequadas de permanência no campo para a população rural, o que também justifica mais investimentos nessas regiões.

Além do que foi mostrado, há ainda o ganho econômico da região no ponto de vista de investimentos, já que, com uma boa via de trânsito, aumenta-se a chance de mais empresas se interessarem em se instalar na região, gerando emprego e renda para toda a população local.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As estradas vicinais constituem um importante braço dos municípios interioranos. É através delas que a produção feita em pequenas indústrias familiares chega aos centros urbanos, sendo muito importantes para a malha de transportes no Brasil, já que nosso país depende muito da rede rodoviária. Segundo dados da Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2019), depois das grandes rodovias que ligam todos os cantos do nosso território, são uma das principais vias de escoamento dos produtos brasileiros, já que temos em nossa cadeia de produção a maior parte de produtos agrícolas produzidos em locais muitas vezes sem um acesso pavimentado.

Diante disso, deve existir planos para manter essas vias de forma que possam atender a todos da melhor forma possível durante seu uso, pois elas não funcionam como as rodovias pavimentadas com um revestimento betuminoso que tem um período entre manutenções maior. Segundo Nedel *et al.* (2017), devido ao grau de complexidade em sua construção, essas estradas são geralmente feitas pela própria população da região ou através de fluxo constante de veículos, necessitando de aprimoramento, ainda mais no tempo de chuva.

São muitos os problemas a que as vias não pavimentadas estão sujeitas, entre eles podemos destacar as erosões, atolamentos, buracos que diminuem e muito o potencial de escoamento da região, pois podem danificar veículos, ou impedir o tráfego de outros.

Outra característica interessante observada é de que o trajeto precisa de uma seção transversal correta, além de uma largura adequada ao tráfego, pois muitas das vezes existem veículos trafegando no sentido de circulação oposto.

5.1 Estradas Vicinais

Estradas Vicinais segundo Almeida (2019), são vias que tem a função de interligar localidades vizinhas com a zona urbana da cidade, como por exemplo condomínios distantes, zona rural, bairros, entre outros locais, elas têm seu início e

fim bem definidos, como por exemplo a estrada do Ambrósio, ela liga o centro urbano da cidade de Capitólio - MG com as fazendas que ficam na zona rural do município, na maioria das vezes, essas vias não tem pavimentação e ficam difíceis de se transitar em determinadas épocas do ano.

O Brasil, segundo dados da Confederação Nacional do Transporte (2019), possui pouco mais de 12% das rodovias pavimentadas, o restante dessas rodovias não tem qualquer tipo de pavimentação.

De acordo com Nunes (2003), acredita-se que, para se ocorrer o desenvolvimento socioeconômico de um país, deve ser necessária a melhoria do bem-estar social e a disponibilidade de infraestrutura adequada ao desempenho da atividade produtiva.

Esse tipo de relação impõe uma consideração sobre a importância fundamental das instalações de transporte para o processo de produção, circulação e distribuição da riqueza pertinente a uma economia nacional.

Concordando com essa ideia, Barat (2002), afirma que “ os países que atingiram o desenvolvimento de forma consistente e duradoura foram aqueles que souberam priorizar os investimentos em infraestrutura ” (BARAT, 2002).

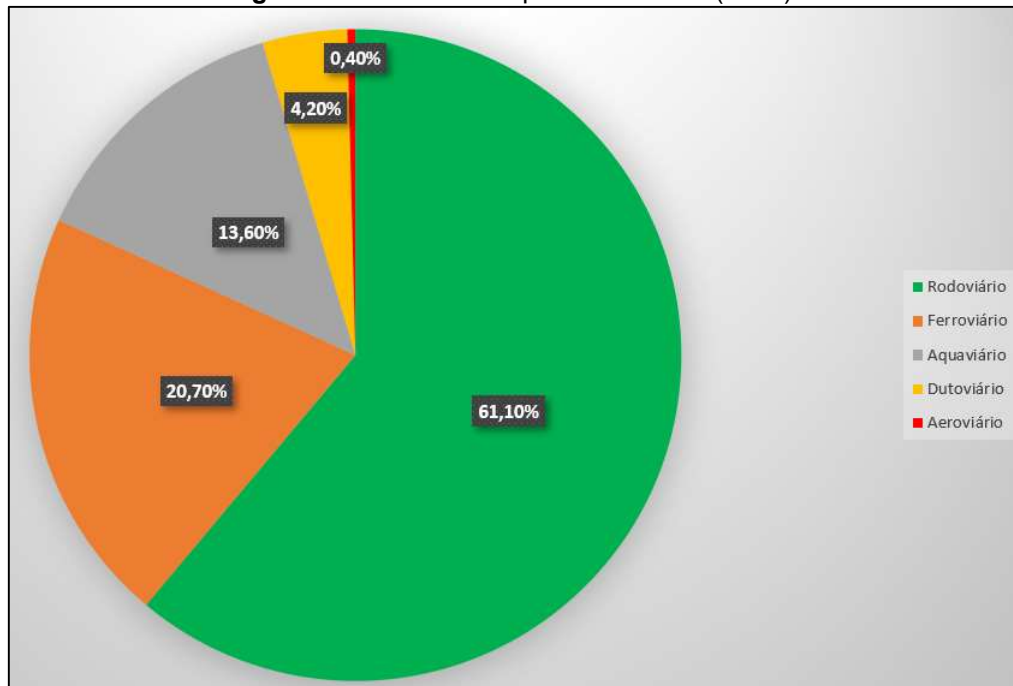
Caixeta e Martins (1998) explicam a função vital do transporte, no alcance de elementos prioritários nas políticas de aumento do desenvolvimento, como, por exemplo, a exploração de recursos, o aumento do valor das terras, a produção em larga escala, o escoamento a várias partes e, conseqüentemente, o aumento dos mercados e a redução do custo das mercadorias. Ainda assim, os transportes cumprem papel essencial e social, como permitir a mobilidade das pessoas, estimulando o compartilhamento de informações e ideias.

Pensando nesse contexto, o Brasil apresenta, segundo dados da BBC (2018), uma parte significativa das suas instalações de transporte concentrada no modo rodoviário. Essa predominância, conforme Fleury (2002), se deve principalmente, aos baixos preços praticados por essa categoria, à pequena extensão de malha ferroviária do país e à degradação na qual se encontra, falta de investimento no potencial fluvial para transporte, a pressão exercida pela indústria automobilística. De acordo com Fleury (2002), temos uma baixa utilização do potencial navegável do

país, que poderia chegar em torno de 45 mil quilômetros, mas apenas 28 mil são efetivamente utilizados.

A figura 9 mostra o grau de utilização dos diferentes transportes de carga no Brasil.

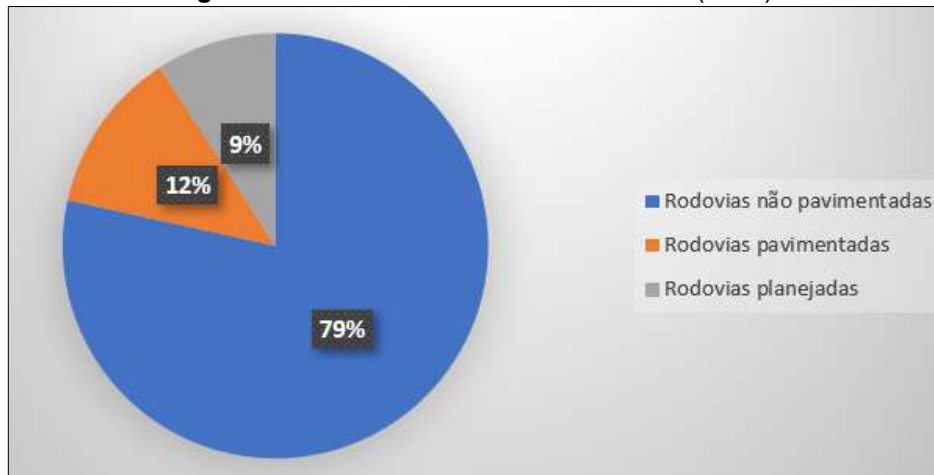
Figura 9: Matriz de transportes no Brasil (2014).



Fonte: Adaptado da Confederação Nacional do Transporte (2019).

Considerando o cenário supracitado, é importante o estudo de outra alternativa viável que minimize os estrangulamentos físicos causados em consequência das condições insatisfatórias em que se encontram a malha rodoviária brasileira. Essas consequências, segundo Barat (2002), afetam a competitividade das exportações e o abastecimento interno, além de impedirem o desenvolvimento do mercado nacional.

Dada a importância do modal rodoviário no setor de transportes de carga, é apresentada na figura 10 a extensão das rodovias pelo Brasil, com o propósito de mostrar a frequência de rodovias não pavimentadas, geralmente compostas por rodovias vicinais, objetivo desta pesquisa.

Figura 10: Extensão das rodovias no Brasil (2019).

Fonte: Adaptado da Confederação Nacional do Transporte (2019).

As vias de terra, situadas geralmente na jurisdição dos municípios, contribuem para o desenvolvimento socioeconômico da região a qual pertencem e, de acordo com a Lei nº 5.917/73, artigo 12, cabem aos municípios os investimentos e a gestão da infraestrutura necessárias às estradas vicinais.

Os municípios dispõem de poucos recursos técnicos e financeiros a serem empregados nos serviços de manutenção das estradas vicinais. Isso é evidente já que o orçamento da maioria dos municípios interiores é bem limitado, ainda mais depois da aprovação do teto de gastos em 2015, limitando o financiamento público aos entes federados. Este fator, aliado ao pensamento de alguns governantes de que a manutenção dessas estradas não requer mão de obra qualificada contribui para a falta de pesquisas dedicadas às estradas de terra, apesar da sua importância já citada.

Uma das soluções apresentadas por Viviani (1998) é a implantação de sistemas de gerenciamento das vias e a realização de atividades de manutenção periódicas e de caráter preventivo, essenciais para este tipo de estrada.

De acordo com Alves et al. (2019), como não se pode interferir no planejamento, projeto e a construção de uma estrada não pavimentada na maioria das vezes, devido ao fato de sua origem ser de acordo com a necessidades dos usuários daquele local, é necessário interferir na sua conservação, o que deve ser feito por meio de manutenção preventiva e regular e eventuais melhoramentos a serem feitos.

5.2 Desafios para a manutenção e recuperação de estradas vicinais

Matos *et al.* (2017), nos seus estudos por métodos de avaliação nas estradas não pavimentadas, coloca que a sua manutenção é um processo diretamente associado aos problemas que geram um comprometimento funcional dessas vias.

Mesmo com essas dificuldades de ordem prática, este assunto merece uma maior atenção das pesquisas e também das produções teórico-científicas. Segundo os mesmos autores, isso tem como objetivo o encontro de soluções para manutenção da trafegabilidade durante todo o ano a custos suportáveis.

Cunha (2012) destaca alguns problemas que têm grande impacto e são ligados às estradas não pavimentadas no Brasil, como a grande extensão da malha viária, as condições técnicas precárias onde este tipo de malha se encontra, a falta de um programa de manutenção regular e preventivo, além da escassez de mão de obra especializada e, obviamente, de recursos financeiros.

Esses problemas conduzem a soluções emergenciais, que servem apenas temporariamente, pois segundo Dalosto *et al.* (2016), características técnicas ruins, somadas às diversas condições que podem existir, especialmente em épocas chuvosas, impedem o tráfego durante o ano e acarretam em prejuízos econômicos e sociais irreversíveis a médio e longo prazo.

Diante dos fatos, Nunes (2003) apresenta soluções, com base na capacidade de se prever o problema antes dele aparecer com o uso das redes neurais artificiais. Esse estudo se mostrou muito importante, com capacidade de prever problemas futuros em estradas vicinais.

As “ estradas de terra ”, segundo Almeida (2019), são frequentes no meio rural, pois não são revestidas por nenhum tratamento superficial, betuminoso ou de cimento Portland. Sua camada superficial é constituída na maioria das vezes por solo local, ou até mesmo com uma mistura deste solo local com agregado granular que é decorrente de manutenções prévias.

Entre defeitos comuns nesse tipo de via, Almeida *et al.* (2017) citam problemas de visibilidade que são causados pela poeira excessiva, principalmente na estação seca, e pelo crescimento das vegetações que avançam sobre o leito da estrada.

Pensando no ponto de vista geométrico, Almeida *et al.* (2017) observaram que essas vias são condicionadas ao aproveitamento de trilhas e caminhos existentes, com altos índices de rampas fortes e curvas com raio bastante reduzido.

Os principais pontos a serem observados para a construção ou manutenção de uma estrada de terra, segundo Nunes (2003), são a capacidade de suporte compatível com o tráfego que essa estrada está sujeita, além de condições de rolamento e aderência adequadas ao conforto e segurança do usuário.

Para Matos *et al.* (2017), existem diversos defeitos a que as estradas estão sujeitas, como ondulações, atoleiros, areiões, poeira, buracos e erosões. Ainda para ele, sua principal causa é a falta de capacidade de suporte do subleito, o mal desempenho da superfície de rolamento, a deficiência no sistema de drenagem instalado ou a combinação de todos esses fatores.

Há critérios a serem observados para se observar o estado da superfície de qualquer estrada. De acordo com Oda (1995), são eles: o material da superfície, as intempéries da natureza, o tráfego e a manutenção. Ela também afirma que uma estrada bem pavimentada deve contar com algumas características imprescindíveis, como a largura da faixa de rolamento, sendo esta suficiente para acomodar todo o tráfego da região; deve apresentar resistência para suportar as cargas das rodas dos veículos que ali transitam; ter ainda uma boa capacidade de suporte, que depende das características do material da superfície e da resistência do material do solo, pois o teor de umidade varia; além disso, é também imprescindível um sistema de drenagem adequado, pois a água sob nenhuma circunstância pode ficar acumulada na pista, evitando problemas futuros.

5.3 Defeitos em estradas vicinais

Para Pereira (2017), problema ou defeito é qualquer alteração na superfície da estrada que influencie de forma negativa as condições de rolamento. Essas

alterações são organizadas na forma de graus ou níveis de severidade, que variam de acordo com a interferência ou trafegabilidade da via.

Esses defeitos, segundo o mesmo autor, provocam irregularidades e desconforto e, dependendo da severidade, levam sérios riscos à segurança do usuário, além de influir na velocidade de operação da via e nos custos operacionais do veículo.

5.3.1 Tipos de defeitos em estradas não pavimentadas

Ondulações: de acordo com Baesso e Gonçalves (2003), um dos defeitos que podem ser presentes nas estradas consiste em ondulações, também conhecidas pelos populares como “ costelas de vaca ”, pela sua aparência. Elas constituem sulcos em intervalos regulares ou irregulares, no sentido perpendicular à direção do tráfego. Para os referidos autores, este tipo de defeito ocorre devido à ação contínua do trânsito, que, com o tempo, causa a perda de agregados finos da camada de revestimento, subleito e base, porém também pode ser causado pelo abaulamento insuficiente da secção transversal da estrada ou o revestimento de pouca qualidade.

Na Figura 11, está representada uma imagem das ondulações que podem estar presentes em estradas vicinais.

Figura 11: Trecho de estrada com ondulações, localizado na estrada para a Cachoeira da Capivara em Capitólio - MG.

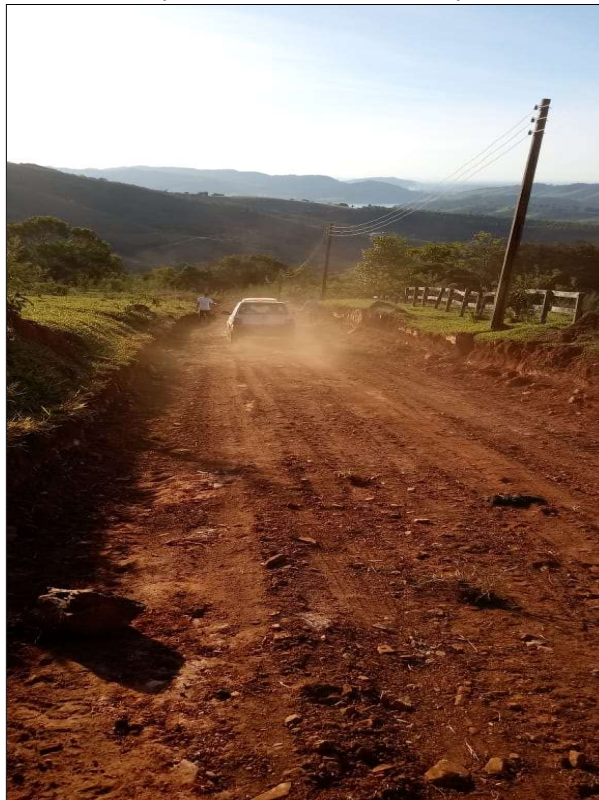


Fonte: Autor (2020).

Poeira: Outro defeito em estradas vicinais é a poeira. Segundo Santos *et al.* (1988), ela é causada pela grande quantidade de material fino no leito da rodovia, que, durante o período da seca, fica sem umidade e, com isso, cria, junto a ação abrasiva do tráfego no traçado, as famosas nuvens de poeira. Este tipo de defeito atrapalha a visibilidade, o que afeta diretamente a segurança dos usuários.

Na Figura 12, é mostrada uma via vicinal com este tipo de defeito.

Figura 12: Trecho de estrada com poeira, localizado em Capitólio - MG na região do Ambrósio



Fonte: Arquivo Prefeitura Municipal de Capitólio (2020).

Erosão: de acordo com Salomão e Iwasa (1995), a erosão é um processo de separação ou remoção de partículas de solo ou fragmentos de rochas, por ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo ou plantas e animais.

Segundo Salomão e Iwasa (1995, p. 31), no geral “ há duas formas de se distinguir os processos erosivos, a erosão **natural**, que se desenvolve quando o solo está em equilíbrio com a própria formação do solo, e a erosão **acelerada**, que, como tem intensidade superior à de formação do solo, não pode ser tratada naturalmente ”.

De acordo com Nunes (2003), os maiores defeitos em estradas vicinais são as erosões, que nada mais são do que o resultado da ação da água no terreno, causando sulcos por toda a extensão da estrada, tornando o trânsito difícil e muitas vezes obstruído. Esse processo de erosão, quando não solucionado, aumenta com o tempo devido à velocidade da água, como as enxurradas, evoluindo para grandes ravinas.

A erosão geralmente é encontrada, de acordo com Santos *et al.* (1988), em estradas com rampas acentuadas, sem a declividade transversal e de drenagem adequada. A ausência desses sistemas de drenagem, para Cunha (2012), favorece o acúmulo de água na superfície da estrada e posterior erodibilidade do solo.

De acordo com Dadalto *et al.* (1990), a erosão ainda é um grave defeito para o meio ambiente ao redor da estrada, pois, com a sedimentação do solo graças à passagem de água, todos os sedimentos vão para a parte mais baixa da bacia – geralmente rios e córregos –, contribuindo para o assoreamento desses mananciais e causando um impacto ambiental ainda maior na região.

De acordo com Salomão e Iwasa (1995, p. 32), “ classifica-se como uma das principais causas da erosão, a ocupação humana, que se inicia pelo desmatamento e é seguida pelo cultivo de terra, construção de estradas, criação e expansão das vilas e cidades, de forma que se torna pior conforme é feita de modo inadequado ”.

Depois de ser iniciada, a situação tende a piorar pelos fatores naturais a que o solo está sujeito, como o escoamento da chuva, o relevo, o tipo de solo, se existe ou não uma cobertura vegetal, entre outros.

Para isso, estuda-se a Erosividade. Segundo Salomão e Iwasa (1995, p. 32):

O índice que indica a capacidade da chuva de provocar a erosão é conhecido como Erosividade. Ela é calculada considerando que os outros fatores que provocam a perda de solos por erosão como constantes, e a Erosividade é proporcional ao produto da energia cinética total das gotas de chuva e sua intensidade máxima em 30 minutos.

Camargo (2018) propôs, uma adequação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) (Equação 1) ou Universal Soil Loss Equation (USLE) WISCHMEIER e SMITH (1978, apud Camargo, 2018), que é um modelo empírico para estimar a perda média anual de solo por erosão laminar e considera fatores naturais e antrópicos, os quais podem ser estimados e especializados a partir das geotecnologias existentes. Esta adaptação proposta por ele otimiza o cálculo, diminuindo o custo para se obter as variáveis necessárias, além de ser mais específica para o local e tipo de solo almejado.

$$A = R * K * (L * S) * (C * P) \text{ (Equação 1)}$$

onde:

A = perda média anual de solo por unidade de área (ton/ha.ano);

R = Erosividade da chuva (Mj.mm/ha.h.ano);

K = Erodibilidade do solo;

L = comprimento da vertente;

S = declividade da vertente;

C = uso e manejo do solo;

P = práticas conservacionistas.

A adaptação feita por Camargo (2018) está representada pela Equação 2:

$$A = R * K * C * P \text{ (Equação 2)}$$

Sendo:

A - Perda média anual de solo por unidade de área (t/ha/ano);

R - Erosividade da chuva (MJ/ha/mm/h/ano);

K - Erodibilidade do solo (t/h/MJ.mm);

C - Uso e manejo do solo;

P - Práticas conservacionistas.

Já a topografia do terreno, segundo Salomão e Iwasa (1995), influencia diretamente na velocidade das enxurradas, devido à declividade do terreno, que, quando é muito alta, aumenta a velocidade com que a água passa. Assim, quanto menor for comprimento da rampa, maior será a declividade e a força da gravidade (que, no caso, é constante).

Segundo Salomão e Iwasa (1995, p. 34), “ as propriedades físicas do solo, principalmente textura, estrutura, permeabilidade, densidade e as características químicas, biológicas e mineralógicas, exercem diferentes influências na erosão, ao conferir uma maior ou menor resistência a ação das águas ”.

Os prejuízos deste tipo de fenômeno são muitos. Além da precarização das estradas, há fenômenos como: a perda da extensão de terras e a sua consequência, a queda da produtividade, o depósito dos sedimentos em vertentes destruindo solos férteis atingindo o fundo dos vales, provocando assoreamento dos cursos de água.

Existem várias formas de erosão, as mais comuns, que são presentes nas regiões rurais e que tem uma influência significativa nas qualidades das vias segundo Salomão e Iwasa (1995), são os sulcos, ravinas e voçorocas.

Os sulcos de acordo com Araújo (2011), são como pequenos cortes no solo, com uma largura de aproximadamente 0,5m, esse tipo de erosão se caracteriza como o transporte de partículas do solo pela água, perpendicularmente as curvas de nível do terreno, e isso resulta em pequenos cavos sobre a superfície do terreno, este problema se destaca por ser o início de uma erosão mais grave.

Na Figura 13 está representado uma foto de erosões do tipo sulco em um terreno em São Pedro-SP, elas ocorrem geralmente nos terrenos a montante e a jusante da estrada.

Figura 13: Trecho de estrada com sulcos, localizado em Capitólio - MG.



Fonte: Autor (2021).

Para Araújo (2011), nas ravinas o processo erosivo encontra-se mais intenso, atingindo dimensões superiores a 0,5m de largura, e ela ocorre quando a água superficial encontra um canal preferencial de escoamento em determinado local, ele apresenta uma seção transversal em forma de V e tem ausência de vegetação densa, nesse processo a água escava o solo podendo chegar a atingir a rocha mãe em uma fase mais avançada de evolução.

Na Figura 14 está representado uma foto de erosões do tipo ravina em um terreno em São Pedro-SP, elas ocorrem geralmente nos terrenos a montante e a jusante da estrada.

Figura 14: Trecho de terreno com erosão do tipo ravina, localizado em São Pedro - SP.



Fonte: Araújo (2011).

Quando a erosão se desenvolve por influência das águas superficiais e dos fluxos de águas subsuperficiais, incluindo o lençol freático, ele será classificado como voçoroca ou boçoroca, de acordo com Salomão e Iwasa (1995, p. 31), além de ocorrer o desenvolvimento de PIPING (Erosão interna ou tubular).

Segundo Salomão e Iwasa (1995, p. 31), “ o processo de PIPING pode dar origem a colapsos no terreno, com desabamentos que irão alargar a boçoroca ou criar novos ramos. Este é o pior cenário possível, já que é o cenário com vários fenômenos juntos: erosão superficial, erosão interna, solapamentos, desabamentos e escorregamentos, esse tipo de erosão tem um alto poder destrutivo ”. Na Figura 15 está representado uma foto de erosões do tipo voçoroca em um terreno em São Pedro - SP.

Figura 15: Trecho de terreno com erosão do tipo voçoroca, localizado em São Pedro - SP.



Fonte: Araújo (2011).

Na Figura 16, temos uma foto de uma erosão que ocorreu em uma estrada vicinal. Percebe-se que já existem grandes sulcos na superfície da estrada, o que indica que já é uma erosão em um estado não tão superficial.

Figura 16: Trecho de estrada com erosão, localizado na comunidade do Ambrósio em Capitólio - MG.



Fonte: Autor (2021).

Buracos: os buracos também são outro tipo de defeito que é frequente em estradas vicinais. Segundo Silva (1975, apud Pereira, 2017), eles são o resultado de uma drenagem deficiente, sem o abaulamento transversal necessário, ou seja, a estrada se apresenta muito reta e, em consequência disso, a água da chuva não cai para o lado da estrada, se acumulando em determinados locais, que, com o movimento dos carros, vai criando buracos.

Na Figura 17, vemos um exemplo de buraco em estradas vicinais. Este, em específico, já tem o agravamento do afundamento da trilha de roda na estrada em conjunto.

Figura 17: Trecho de estrada com buraco e afundamento de trilha de roda.



Fonte: Vieira (2017).

Afundamento de trilha de roda: já o afundamento de trilha de roda, como visto na Figura 16 acima, é causado, segundo Pereira (2017), pelas cargas repetidas do tráfego nas épocas de chuva. Isso diminui a resistência do solo devido à saturação provocada pela água e é ainda mais agravada quando a capacidade de suporte do solo é baixa ou quando a capacidade de drenagem é reduzida.

Segregação de agregados: outro defeito a que as vias estão sujeitas é a segregação das partículas que constituem a via. Segundo Nunes (2003), as partículas desprendem-se da superfície de rolamento devido ao tráfego, e já que existe a adição de material granular para aumentar o atrito do pneu com o solo isso acarreta a formação de bermas no centro ou ao longo da linha do acostamento da estrada, podendo até mesmo se depositar na área menos trafegável.

Atoleiro: segundo Oda (1995 apud Pereira, 2017), o atoleiro numa estrada vicinal é quando existe acúmulo de água na estrada em solos com pouca capacidade de suporte, agravado pela ausência ou deficiência da drenagem. Com isso, a roda perde o atrito com o solo e gira livremente sem tração, como pode ser visto na Figura 18. Trechos com este tipo de problema tendem a dificultar o tráfego de veículos pesados, importantes ferramentas para a economia da região.

Figura 18: Trecho de estrada com atoleiro.



Fonte: Faleiros (2018).

Areiões: os areiões são bermas de areia solta, formada pela passagem de veículos. De acordo com Nunes (2003), os areiões geralmente ficam no centro da trilha de roda ou nas laterais da estrada. Esse tipo de defeito contribui bastante para o acúmulo de água porque ele impede que esta saia e chegue até as laterais.

Para Pereira (2017), isso geralmente ocorre em regiões planas e de solo arenoso onde não existe ou é insuficiente a quantidade de material ligante (argila).

Na Figura 19, vemos um exemplo desse defeito nas estradas.

Figura 19: Trecho de estrada com areiões, localizado na comunidade do Ambrósio em Capitólio - MG.



Fonte: Autor (2020).

Seção transversal inadequada: de acordo com Oda (1995 apud Pereira, 2017), um dos maiores problemas para a estrada ainda continua sendo a sua seção transversal. Uma seção inadequada apresenta dificuldade para escoar a água da chuva para as laterais da pista, o que acaba gerando diversos outros problemas ao longo do tempo, e é considerado uma das origens dos defeitos em estradas vicinais.

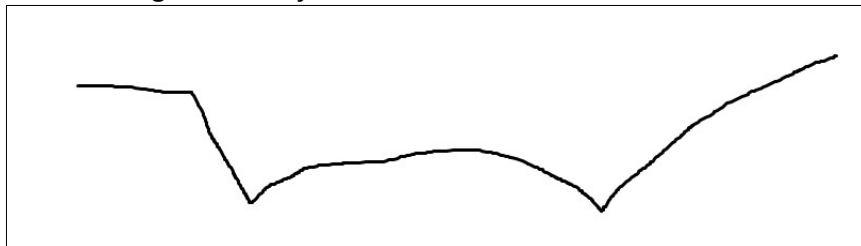
Para Oda (1995 apud Pereira, 2017), este tipo de seção transversal imprópria é evidenciado pela água escoando sobre a superfície de rolamento.

Geralmente esse problema é causado pelo nivelamento da superfície, sem um acréscimo de material, o que faz com que a estrada se encaixe no terreno, e, como

geralmente esse tipo de intervenção é feito várias vezes ao longo dos anos, o problema só vai piorando ao longo do tempo, sem uma solução longa.

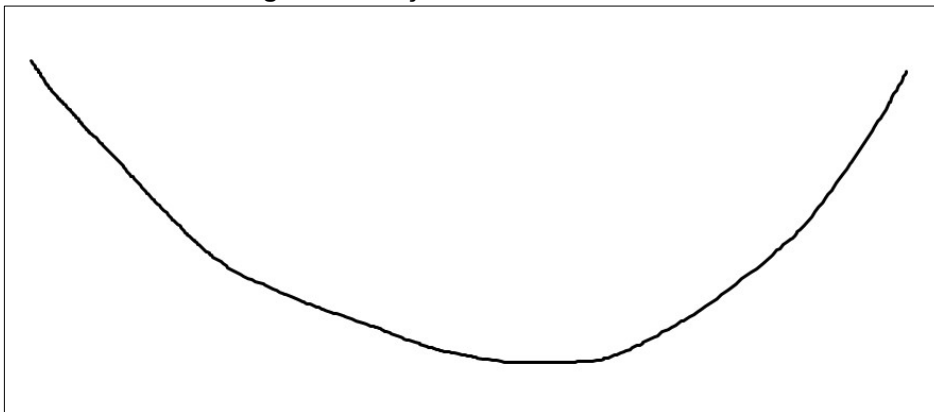
Nas Figuras 20 a 22, temos alguns tipos de seção transversal inadequada que são frequentes. Elas foram classificadas por Eaton *et al.* (1987, apud NUNES, 2003) e adaptadas.

Figura 20: Seção transversal abaulada e encaixada.



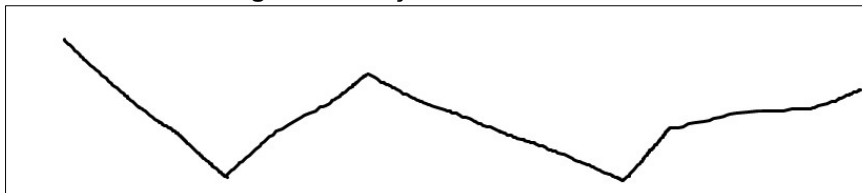
Fonte: Nunes (2003) adaptado pelo autor.

Figura 21: Seção transversal em calha.



Fonte: Nunes (2003) adaptado pelo autor.

Figura 22: Seção transversal mista.



Fonte: Nunes (2003) adaptado pelo autor.

Como mostrado acima, Eaton *et al.* (1987, apud NUNES, 2003) e Fontenele (2001 apud NUNES, 2003) classificam da seguinte forma os níveis de severidade de erro nas seções:

- Baixa: pouca quantidade de água empoçada na superfície, ou superfície sem declividade transversal, com pouco ou nenhum defeito.

- Média: quantidades mais moderadas de água empoçada, ou com formato mais côncavo. Parecido com uma bacia, com uma ocorrência moderada de defeitos.
- Alta: grandes quantidades de água empoçada na superfície da estrada, ou com muitas depressões, muita ocorrência de defeitos.

5.3.2 Equipamentos utilizados na manutenção de estradas vicinais

Para realizar a recuperação, manutenção e até mesmo a construção de novas estradas vicinais, é necessária uma variedade de equipamentos para auxílio a este tipo de empreendimento. Entre estes, existem as pás carregadeiras, os compactadores, as retroescavadeiras, os tratores de esteira, os caminhões basculantes, entre outros.

A gama de utilização destes equipamentos é grande. De acordo com Gimenez (2019), seu uso vai desde o nivelamento do greide usando a motoniveladora, até a construção de barragens para o acúmulo de água e sedimentos nos terrenos e até mesmo instalação de manilhas.

Motoniveladora: segundo Gimenez (2019), é um veículo construído com o intuito de fazer a regularização das estradas, que tem como função ajustar o greide do solo. Possui uma lâmina que pode ser ajustada em qualquer inclinação e altura em relação ao seu eixo de marcha e o plano horizontal. São geralmente utilizadas para escavar, deslocar ou nivelar uma superfície.

Ela é construída sobre um chassi articulado, com seis rodas, lâmina no vão central e um *ripper* traseiro também chamado de escarificador, que é uma espécie de arado e que serve para quebrar os pedaços de solos em pedaços menores, os quais serão trabalhados por outro processo durante a regularização.

Algumas funções da motoniveladora:

- a) nivelar terrenos;
- b) realizar pavimentação;
- c) fazer terraplenagem;
- d) ajustar terrenos irregulares em plantações.

Na Figura 23, temos a foto de uma motoniveladora.

Figura 23: Motoniveladora no centro da cidade de Capitólio - MG.



Fonte: Autor (2020).

Rolo compactador: De acordo com Macedo *et al.*, (2016), antes do surgimento do rolo compactador, eram necessários vários operários para fazer a compactação de uma estrada, o que tornava o processo lento e desgastante.

A principal função do rolo compactador é diminuir e comprimir superfícies que possuem grande quantidade de solo ou resíduos. Para Macedo *et al.*, (2016), existem as mais diversas aplicações para este equipamento, desde obras rodoviárias até superfícies para a construção de edifícios.

De acordo com Silva (2019), a fase de compactação é importante na construção, recuperação e manutenção de estradas vicinais e, se não for feita adequadamente, pode comprometer o projeto no futuro.

O compactador é um equipamento grande com um rolo na frente muito característico e também muito pesado (cerca de cinco toneladas). Segundo Gimenez (2019), ele é utilizado para a compactação de aterros.

Silva (2019), em sua dissertação de Mestrado sobre “ Máquinas e equipamentos de terraplenagem: demonstração do cálculo do rendimento ”, coloca que usualmente a velocidade de passagem deste equipamento no local é entre quatro a seis km/h. Existem dois tipos de rolos compactadores: liso e pé de carneiro. Os rolos compactadores lisos são recomendados para terrenos arenosos e também usualmente são usados em pisos e pavimentações de concreto, asfalto, brita e terra batida, dependendo da sua configuração e frequência. Os rolos compactadores pé de

carneiro são aqueles que têm o cilindro com protuberância, formando um relevo na circunferência do rolo.

A função das protuberâncias é penetrar superficialmente no solo para aumentar a área de contato. Segundo Silva (2019), isso faz com que a coesão entre as partículas seja quebrada, o que favorece a evaporação para que o material possa ser compactado com sucesso.

A umidade do solo também é uma importante variável para o uso dos compactadores de pata, de acordo com Silva (2019). O ideal, durante a compactação, é que não esteja nem muito seco, nem muito úmido. No caso de estar muito molhado, o solo pode ficar saturado. Caso o terreno esteja muito árido, é necessário adicionar um pouco de água para facilitar a compactação ou até mesmo um elemento ligante como argila. São geralmente recomendados para terrenos argilosos, mas, como visto ao longo desta seção, possuem aplicações a vários tipos de terrenos.

Na Figura 24, temos um exemplo de um rolo compactador pé de carneiro. A única diferença para o rolo compactador liso é o rolo não apresentar saliências e a potência bem como o método de vibração serem diferentes, no caso do rolo liso.

Figura 24: Rolo Compactador pé de carneiro no centro da cidade de Capitólio - MG.



Fonte: Autor (2020).

Retroescavadeira: este equipamento, segundo Gimenez (2019), é muito versátil e prático. Ele é usado na escavação e desagregação de solo bem como no carregamento de caminhões. Além disso, com seu braço mecânico traseiro, consegue furar com mais precisão locais que se fazem necessários. Além disso, há uma infinidade de ferramentas que podem ser acopladas neste braço traseiro, funcionando como martetele para perfurar concreto, podendo ser acoplado um gancho para erguer materiais, entre outras funções. Nas obras de estradas vicinais, se torna um equipamento essencial.

Geralmente, segundo Silva (2019), são usadas em construções, pequenas demolições, transporte leve de materiais de construção, fornecimento de equipamento para construção, pequenas escavações, paisagismo, quebra de asfalto e pavimentação de estradas. Como existem múltiplas aplicações, as retroescavadeiras são constantemente comparadas a canivetes suíços, ou porta-ferramentas.

De acordo com a Silva (2019), as retroescavadeiras (Figura 25) estão disponíveis no mercado nacional e dividem-se em dois tipos: traçadas e simples. As traçadas possuem tração nas quatro rodas e podem enfrentar obras ou projetos em solos instáveis, como barrancos com uma inclinação mais elevada, enquanto as simples são indicadas para obras em pavimento ou solos estáveis.

Figura 25: Retroescavadeira.



Fonte: Arquivo cedido pela Prefeitura Municipal de Capitólio (2020).

5.3.3 Soluções usadas em estradas vicinais para manutenção e recuperação

Em estradas vicinais não pavimentadas podem ser aplicados uma infinidade de dispositivos a fim de conservar a seção transversal da via. São os dispositivos criados com a finalidade de manter a conservação das estradas não pavimentadas assim como a forma de aplicação no local. É necessário frisar que, apesar dos esforços disponíveis para manutenção, este tipo de obra necessita de muita intervenção ao longo do ano, não devendo ser cessada por longos períodos.

Caixas de contenção: Cunha *et al.* (2012) dizem que estradas com muita umidade são uma grande fonte de sedimentos devido ao revestimento superficial ser mais solto e não ter tanta argila para segurar os agregados maiores. Uma boa opção seria a implantação de caixas de contenção, que têm como objetivo garantir a estabilização dos processos decorrentes da produção de sedimentos, além de ajudar na recuperação de áreas já degradadas, pois são muito eficientes quando aplicadas de maneira correta.

De acordo com os mesmos autores, o principal objetivo dessas caixas é armazenar a água das chuvas, retirando-a do leito da estrada, além de servir como dissipador de energia, diminuindo a velocidade do líquido e facilitando sua infiltração no solo.

Ainda essas caixas ajudam nos terrenos abaixo da estrada, de forma que seguram os sedimentos na parte de cima, evitando o assoreamento de rios ou a aceleração do processo de erosão devido ao fato da água correr pelos terrenos abaixo da estrada (GIMENEZ 2019). No entanto, o autor deixa claro que é necessário que as caixas estejam em boas condições de conservação, exigindo uma boa manutenção, que irá tirar os sedimentos depositados ao longo do tempo.

Na Figura 26, está representada uma caixa de captação durante sua construção. Note que ela é instalada nas margens da estrada. O seu método de cálculo é parecido ao das bacias de captação mostrado a partir da página 55.

Figura 26: Caixa de captação localizada na estrada do Ambrósio em Capitólio - MG.



Fonte: Autor (2020).

Bacias de captação: como dito no item anterior, os maiores problemas que ocorrem nas estradas consistem na água que passa em cima na via. Existem várias formas de captar e direcionar este fluido. De acordo com Dadalto *et al.* (1990), uma delas é utilizando bacias de captação. Elas atuam da mesma forma que a caixa de contenção, porém são indicadas para serem instaladas em locais de inclinação baixa a moderada, e com grande fluxo de fluidos, pois são maiores. Além disso, é necessária uma área mais ampla para sua instalação.

O referido dispositivo, de acordo com Baesso e Gonçalves (2003), é composto por uma cava semicircular que tem por finalidade receber a água da chuva e retê-la, evitando que cause erosões ao longo da estrada.

Para Santos e Morano (2014), existe uma possibilidade de construir esses dispositivos em série e gradualmente levar o volume precipitado para os mananciais

receptores. Com isso, haverá uma diminuição da energia da água juntamente com os efeitos danosos do escoamento superficial na estrada.

Na Figura 27, temos um exemplo de bacia de captação. Note que ela deve ser feita de modo que não ocorra risco de rompimento devido às chuvas, com a instalação de um sumidouro para o caso de excesso de água.

Figura 27: Barragem de captação localizada na estrada do Ambrósio em Capitólio - MG.



Fonte: Autor (2020).

Na literatura, existem diversas formas para se calcular a área dessas barragens, porém, no estudo de caso feito sobre a recuperação das estradas vicinais da região do Ambrósio em Capitólio - MG, foi utilizado o método desenvolvido por Acra (1988) e adaptado posteriormente por Lima (2011), que é utilizado pela EMATER - MG em seus trabalhos.

Para a sua aplicação é necessário conhecer alguns dados. Primeiramente, deve ser calculada a inclinação do trecho em que será feita a implementação. Depois, é preciso medir a largura da estrada. De posse desses dados, utilizou-se o ANEXO A, relacionando a declividade com a largura do eixo da estrada para encontrar distância entre as bacias. Com esse dado em mãos, é utilizada a Equação 3 para encontrar a área de contribuição da bacia, ou seja, a área que contribui para o aumento do volume da bacia e que fica em torno da mesma.

$$A = L * D \text{ (3)}$$

onde:

A = área da bacia (m²);

L = largura da estrada (m);

D = distância entre bacias (m).

A partir desse ponto, seguindo a formulação do ANEXO A, o próximo valor a ser calculado deve ser o volume da bacia ou caixa de captação. Este dado é encontrado utilizando a Equação 4:

$$V = A * 0,10 \text{ m (4)}$$

onde:

V = volume da bacia (m³);

A = área da bacia (m²);

0,10 m = 100 mm de precipitação.

O resultado encontrado será então utilizado para calcular o raio da bacia de acordo com o descrito no ANEXO A. Acra (1988, apud Lima, 2011) prevê as fórmulas de dimensionamento para bacias e caixas de captação de diversos formatos usando este método. Os tipos disponíveis no ANEXO A são: quadrada, retangular, circular e semicircular.

O autor adota a profundidade da bacia ou caixa de captação com uma profundidade útil de 1 metro e, com isso, encontra o raio que deverá ser construído o dispositivo.

Na formulação abaixo retirada do ANEXO A, está a equação 5, usada para a construção de uma bacia circular.

$$r = \sqrt{(V/3,14)} \quad (5)$$

onde:

r = raio da bacia (m);

V = volume da bacia (m³).

No estudo de caso do Ambrósio em Capitólio - MG, as bacias foram calculadas usando o método proposto por Acra (1988) e adaptado por Lima (2011), porém, como o equipamento disponível para sua construção não permitia uma construção exata, as bacias circulares e semicirculares ficaram com um raio maior, ou seja, superdimensionadas. Já no caso das caixas de captação, foi possível a construção mais exata devido ao uso do braço articulado da retroescavadeira, que permitia cavar as caixas de formato quadrado e retangular.

A construção destes dispositivos é uma tarefa relativamente simples, porém devem ser observadas algumas peculiaridades no momento de sua construção para assegurar o seu perfeito funcionamento e evitar problemas futuros, como o rompimento de barragens.

As barragens, de acordo com Santos *et al.* (1988), devem apresentar um local de escape para a água da chuva, pois pode ocorrer em alguma ocasião de o volume de precipitação na região atingir o seu limite. Portanto, esse dispositivo tem a finalidade de retirar o excesso de água de dentro da bacia, sem deixar que o líquido esorra pelas suas bordas, pois, caso isso aconteça, a água tende a levar os sedimentos até ocorrer o colapso da bacia.

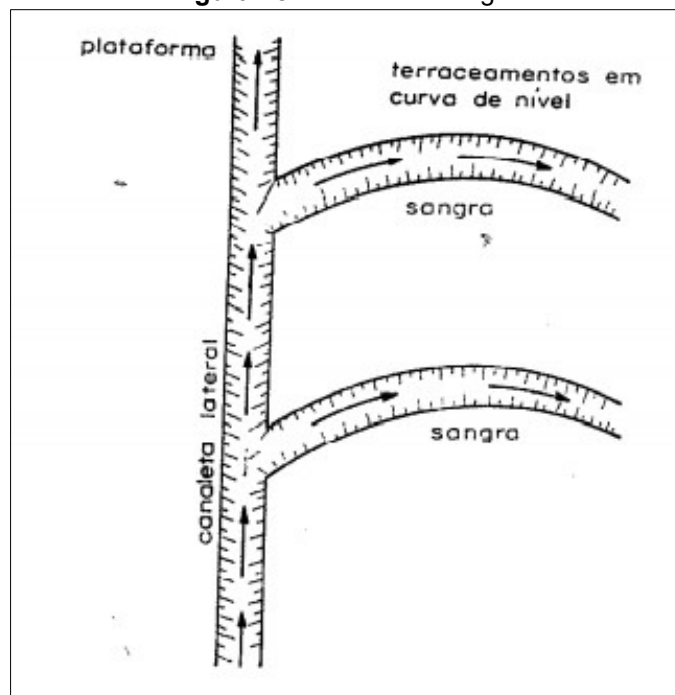
De acordo com Soares *et al.* (2017), este dispositivo de escape chamado de “ ladrão ” deve ser feito sempre em terreno firme, pois o solo original geralmente tem uma capacidade maior de resistir a ação contínua da chuva, que causa o processo de sedimentação.

Outro detalhe importante, apresentado por Soares *et al.* (2017), quando realizaram a proposta de adequação da estrada do Ambrósio em Capitólio, foi que o armazenamento de água das bacias nunca deve ser feito na área de aterro, pois pode causar o rompimento da barragem devido à infiltração, uma vez que a capacidade de suporte do solo do aterro é menor que a do solo original. Os dispositivos devem ser instalados abaixo do nível da estrada para evitar que a água retorne.

No caso das bacias, Soares *et al.* (2017) recomendam a criação de uma caixa de sedimentos antes da chegada na barragem, servindo como um local para depósito dos agregados que foram levados pela chuva e, nesse local, deverá ser feita a manutenção antes do período chuvoso bem como depois, de modo a evitar que ocorra o assoreamento da bacia e, com isso, a perda de sua função.

Sangras: para Santos *et al.* (1988), a função desse dispositivo é a retirada de água das vias. Com o seu auxílio, a água da chuva é retirada da plataforma através de canaletas laterais, geralmente levando a água para um sistema de drenagem natural ou para um terreno vizinho. Caso seja este o caso, deve ser previsto que tenha curvas de nível, evitando erosões. Na Figura 28, é mostrado um exemplo da aplicação deste sistema de drenagem.

Figura 28: Modelo de sangra.

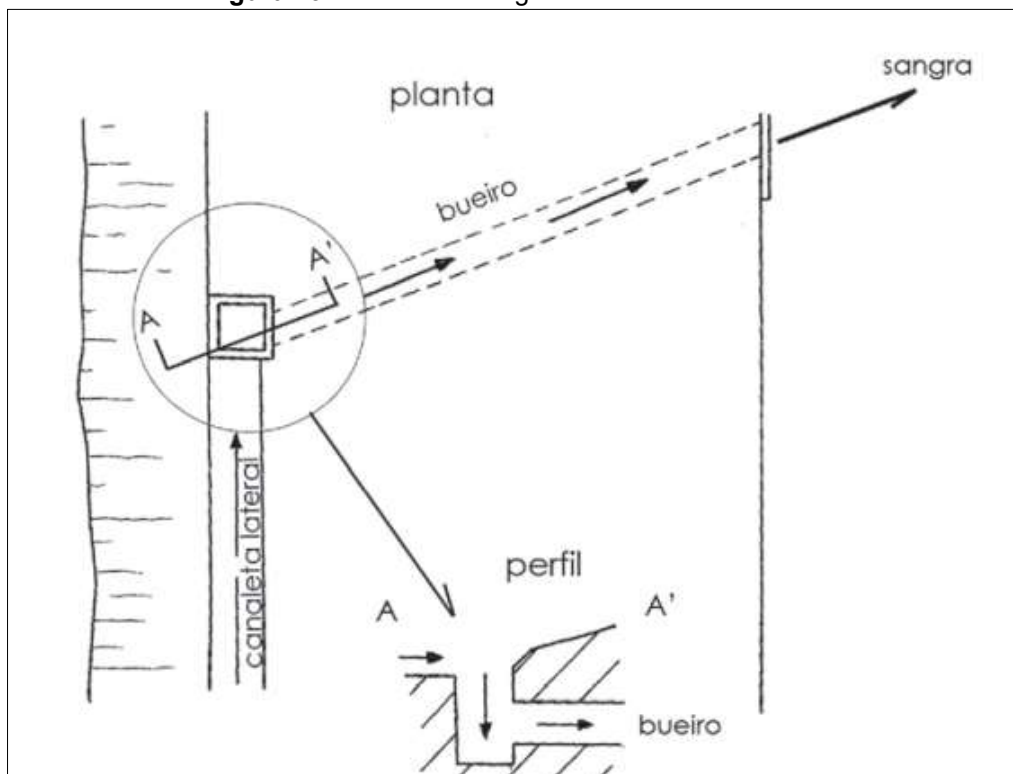


Fonte: Santos *et al.*, (1988), pg. 102.

Santos *et al.* (1988) colocam que talvez seja necessária a construção de um camaleão na plataforma, como forma de forçar a água para a canaleta e, conseqüentemente, para a sangra, funcionando como um divisor de águas. No entanto, caso este seja instalado, é sempre necessário sinalizar o local para a segurança dos condutores.

No caso de a estrada não permitir a construção das sangras laterais, Pastore *et al.* (2019) propõem a aplicação de um modelo de sangra com auxílio de um bueiro, que pode ser feito como o mostrado na Figura 29. Este bueiro recebe a água da chuva de um lado da pista de rolamento e leva o fluido através de manilhas que passam por baixo da plataforma até o outro lado, onde essa água é expelida.

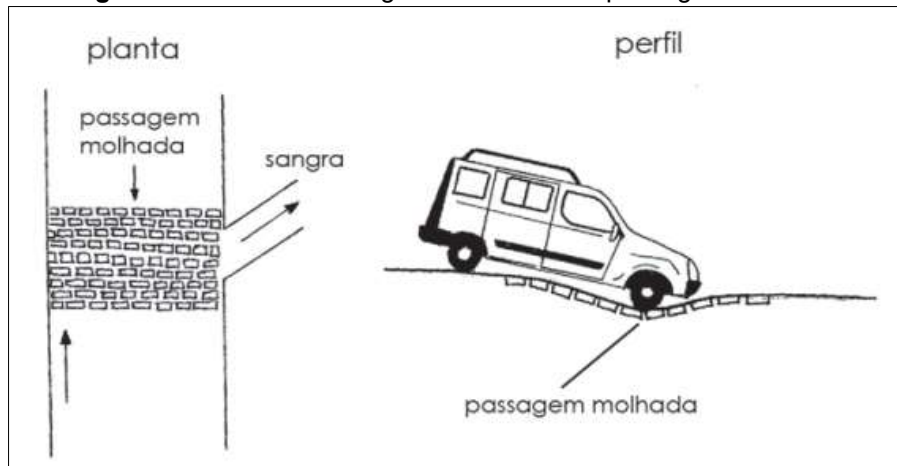
Figura 29: Modelo de sangra com auxílio de bueiro.



Fonte: Pastore *et al.*, (2019), pg. 137.

De acordo com Pastore *et al.* (2019), a sangra também pode ser feita com o auxílio de passagens molhadas, como o mostrado na Figura 30.

Figura 30: Modelo de sangra com auxílio de passagem molhada.



Fonte: Pastore *et al.*, (2019), pg. 136.

Para a instalação destes sistemas, Pastore *et al.* (2019), pg. 137, contextualizam as seguintes dicas e métodos:

- a) as dimensões dos bueiros devem ser calculadas através dos métodos usuais, com base no volume de água que irá passar pelo local, mas deverá ter pelo menos 40 cm de diâmetro, podendo ser de tubo de concreto;
- b) o topo do bueiro deverá estar a uma profundidade mínima de uma vez e meia o seu diâmetro;
- c) a caixa do bueiro deverá ter no mínimo 0,5 x 0,5 x 1,1 m, devendo ser ampliada conforme necessário;
- d) no caso de o solo de instalação das sangras ser muito erodível, deve ser protegida a saída do sistema, com pedras, sacos de areia ou estacas de madeira tratada colocadas na forma de escada;
- e) o espaçamento necessário de cada sangra vai depender da declividade do leito da estrada, do tipo de material da canaleta lateral e do volume de água na canaleta, porém, como sugestão prática, adota-se 20 metros para trechos inclinados e 40 metros para trechos mais planos. Caso opte por aumentar o desempenho do sistema de drenagem, esse valor poderá ser diminuído a critério do projetista;
- f) a construção das passagens molhadas baseia-se em criar uma espécie de laje de concreto no terreno por onde a água passará até uma sangra. Geralmente são adicionadas pedras nesse local para diminuir a energia do fluido, que transitará por ali na época das chuvas.

Na Figura 31, temos o exemplo de uma instalação de passagem molhada na Bacia do Ambrósio em Capitólio - MG.

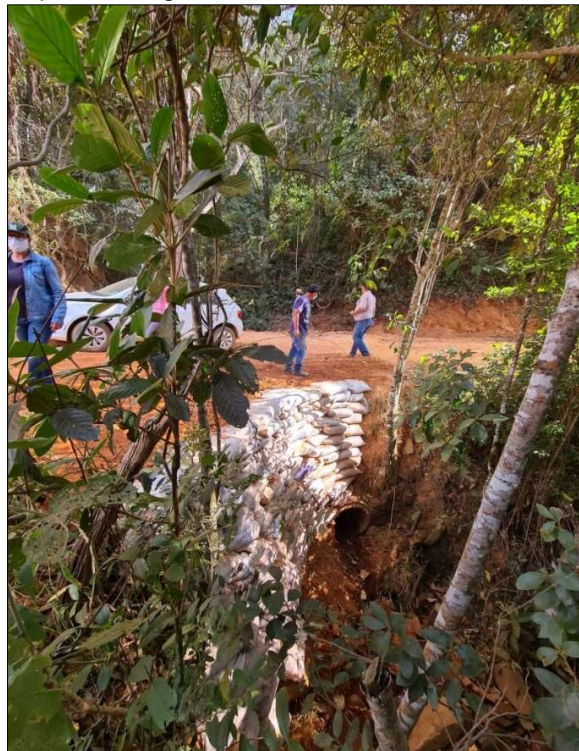
Figura 31: Exemplo de sangra com auxílio de passagem molhada na estrada do Ambrósio.



Fonte: Arquivo da Prefeitura Municipal de Capitólio (2020).

Na Figura 32, está um exemplo de sangra utilizando um bueiro. Note que as manilhas passam abaixo da pista, e sua vazão segue para o terreno a jusante da estrada, sendo neste caso utilizado sacos de aniagem para diminuir a velocidade da água na saída do bueiro.

Figura 32: Exemplo de sangra com auxílio de bueiro na estrada do Ambrósio.



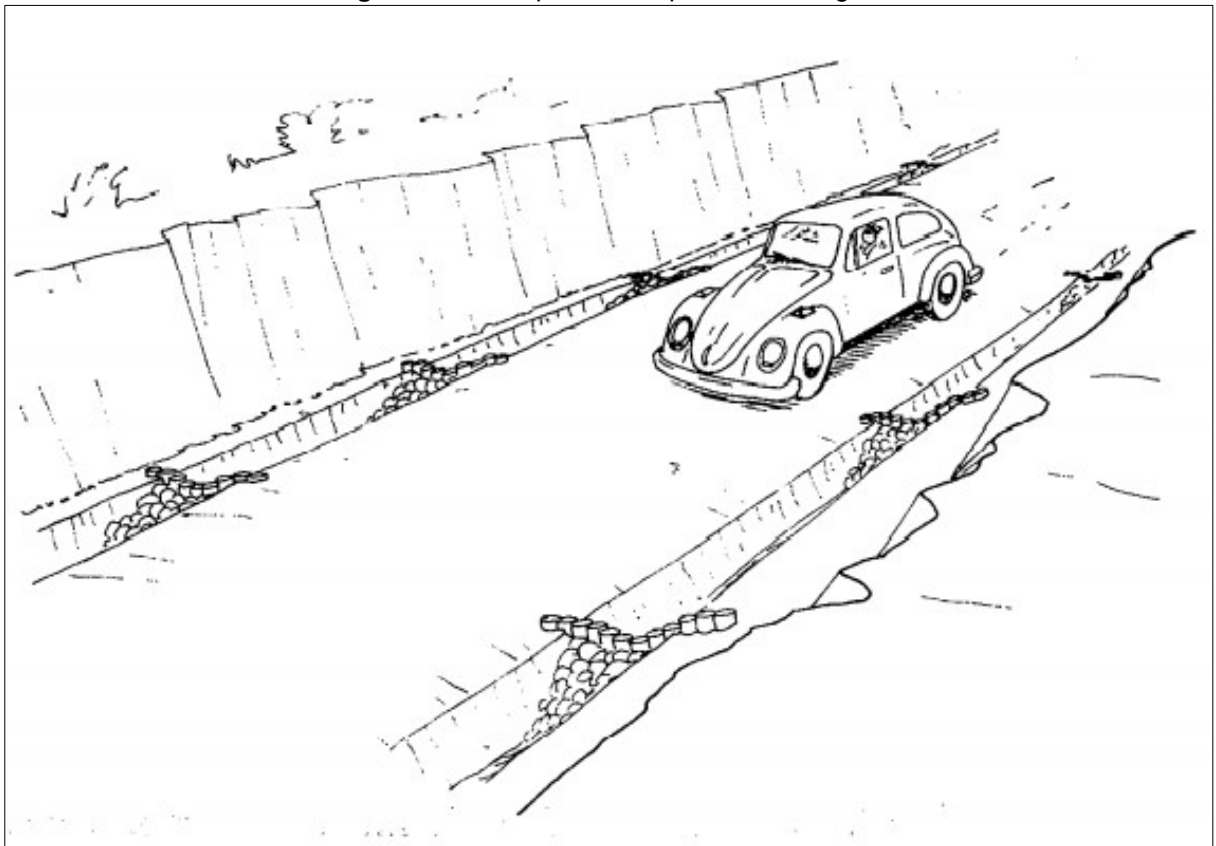
Fonte: Autor (2020).

Dissipadores de energia: outro dispositivo de drenagem, de acordo com Santos *et al.* (1988), que pode ser usado em estradas vicinais são os dissipadores de energia, sendo introduzidos em estradas que são encaixadas, ou seja, que é impossível a instalação das sangras.

Segundo Santos *et al.* (1988), nesses terrenos existe a necessidade de diminuir a velocidade do fluido e dissipar a sua energia até a sangra, bueiro, barragem ou caixa de captação mais próxima. Para o referido autor, existem várias formas de fazer esses dissipadores, como: estacas, pedras, pneus, vegetação, bambu. O segredo é um material que permaneça firme e que se encaixe no local de forma que fique o menor o espaço possível entre esses dissipadores.

Na Figura 33, está representado um exemplo desse sistema utilizando estacas. Veja que ele foi inserido dentro das valetas por onde passa a água.

Figura 33: Exemplo de dissipador de energia.



Fonte: Santos *et al.* (1988), pg. 108.

Outra opção, de acordo com Soares *et al.* (2017), seria a confecção de pequenas barragens ou também escadas, utilizando sacos de aniagem preenchidos com solo e cimento. Com isso, é feita uma mistura de solo local com o cimento numa proporção que geralmente vai de 10:1 a 20:1. Isso vai depender do tipo de solo. Em seguida, a mistura é umedecida e colocada em um saco para depois passar por uma compactação manual.

Na Figura 34, está representado o sistema instalado na bacia do Ambrósio. Neste local, foi utilizado como dissipador de energia os bambus, que são uma vegetação de fácil aquisição na região de Capitólio - MG. Note que, de acordo com Soares *et al.* (2017), a disponibilidade é um fator importante para a escolha do material.

Figura 34: Exemplo de dissipador instalado na Estrada do Ambrósio, no trecho do Morro do Chapéu.



Fonte: Autor (2020).

No sistema citado acima, também pode ser interessante, de acordo com Pastore *et al.* (2019), a adição de uma proteção vegetal por cima do elemento. Com isso, irá evitar o transporte de sedimentos presentes nas canaletas longitudinais.

Aprimoramentos na seção da pista de rolamento: segundo Baesso e Gonçalves (2003), existem diversos implementos possíveis de serem aplicados em uma estrada rural. Nos tópicos anteriores, foram citados elementos que são de muita importância para a drenagem da estrada, que é um sistema que requer atenção pois se for feito de forma errada, diminui muito a vida útil da via.

Por mais sofisticados, eficientes e bem executados que sejam os sistemas de drenagem e de conformação da via, estas obras nem sempre solucionam os problemas de trafegabilidade nas estradas rurais, pois é necessário se atentar também para a seção transversal da pista de rolamento, além de outros fatores segundo Santos *et al.* (1988).

Alguns trechos podem apresentar defeitos quanto à sua capacidade de suporte, como, por exemplo, apresentar-se escorregadios em condições de chuva, o que se deve ao fato dos elevados teores de argila no solo. Para esses problemas, uma das únicas alternativas é a aplicação de uma camada de revestimento primário (ALVES *et al.*, 2019).

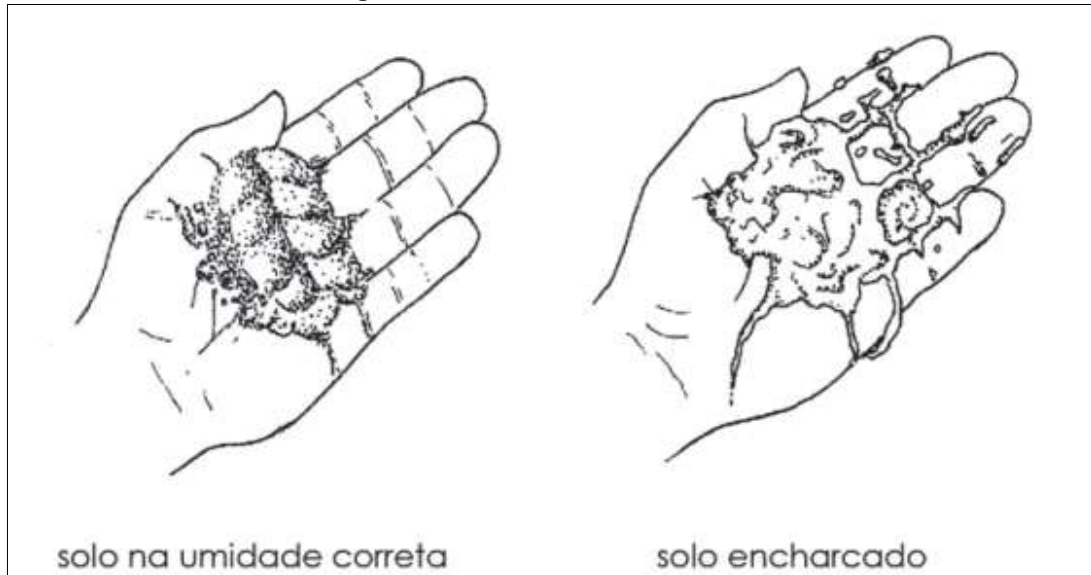
A composição ideal para este revestimento é aquela composta por elementos cuja mistura seja formada por três agregados, ou seja, o agregado graúdo, a areia e finos. Estes materiais, de acordo com Baesso e Gonçalves (2003), são utilizados para dar um revestimento para a via, melhorando suas condições de rolagem.

Pastore *et al.* (2019) dizem que, no momento da mistura dos materiais para a aplicação no revestimento primário ou de reforço, deve ser observada a proporção de 1 para 2,5, ou seja, uma parte de argila para 2,5 partes de material granular.

No momento do espalhamento na via, deve ser feito um teste expedito de umidade na mistura. Ele consiste, segundo Pastore *et al.* (2019), em pegar um pouco da mistura de argila e material granular na mão e tentar fazer tensão com os dedos sobre a palma da mão por alguns segundos. Se, no momento que abrir a mão, a mistura tender a desmanchar, ela está seca, ao contrário, se ficar lamacenta, está

úmida e, caso fique com marcas de dedo conforme mostrado na Figura 35, o teor de umidade apresenta condições ideais de uso.

Figura 35: Teste de umidade in loco.



Fonte: Pastore *et al.* (2019), pg. 54.

Entre os elementos citados por Baesso e Gonçalves (2003), são destacadas as areias, os cascalhos, os saibros, os pedregulhos, as piçarras e o seixo rolado, porém existem uma infinidade de materiais que podem ser aplicados, é necessário também estar atento aos diâmetros do material utilizado, pois o correto na via é manter a pista de rolagem o mais uniforme possível.

No que se diz respeito aos equipamentos usados na moldagem da via, Baesso e Gonçalves (2003), explicam que a motoniveladora é uma grande aliada na manutenção das estradas rurais, isso se deve na maior parte pela versatilidade presente no equipamento, contudo não são somente benefícios, as motoniveladoras se usadas de forma incorreta podem contribuir muito para a deterioração das pistas de rolamento. Assim, o profissional que irá operar a máquina deve estar ciente dos métodos empregados para não piorar a situação da via, ao invés de consertá-la.

Na Figura 36 está representado uma imagem da região do Ambrósio, nela é possível identificar o afundamento do greide da estrada provocado por vários patrolamentos feitos de forma inadequada, procedimento muito utilizado no sistema público, às vezes por falta de informação ou conhecimento. Entretanto, somente usar a motoniveladora no local, não é eficaz de acordo com Pastore *et al.*, (2018), pois o

afundamento do greide somente aumenta os problemas da estrada, principalmente na época das chuvas, pois o movimento de água é maior, resultando em erosões mais profundas, que geralmente é mais grave nas valetas longitudinais laterais.

Figura 36: Imagem da estrada do Ambrósio onde ocorreu o afundamento do greide.



Fonte: Arquivo cedido pela Prefeitura Municipal de Capitólio (2020).

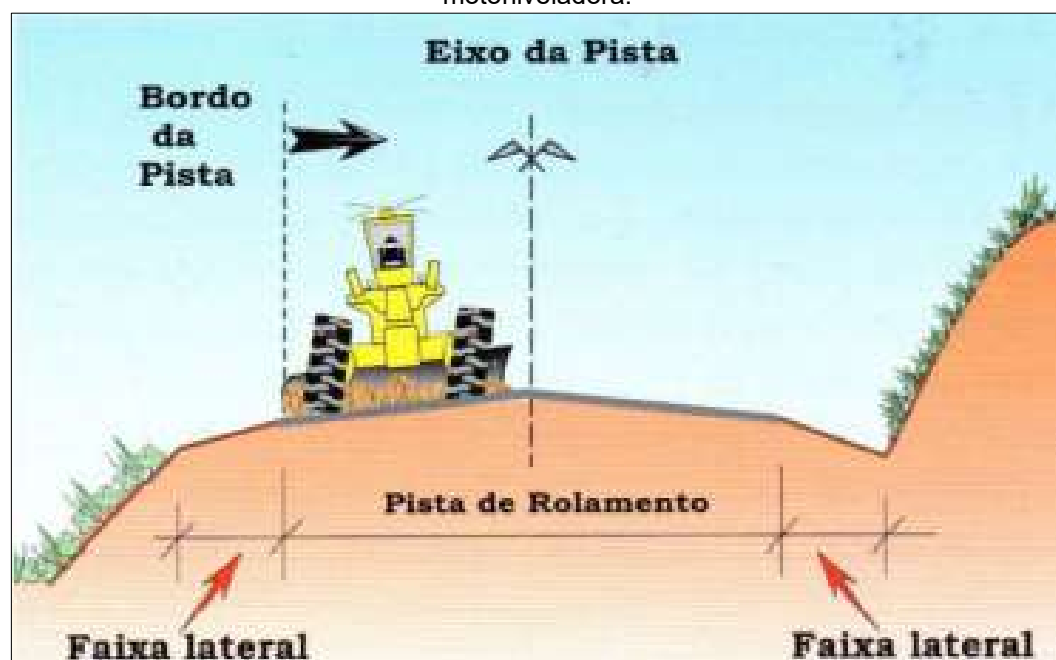
De acordo com Pastore *et al.*, (2019), esse processo de rebaixamento do greide expõe os perfis de solo do terreno, podendo apresentar problemas de suporte, além da condução inadequada das águas pelo novo formato da pista, o problema anteriormente citado também aumenta as distâncias de percolação, iniciando processos de degradação no local e, conseqüentemente, aumentando os efeitos erosivos das águas nas áreas marginais, uma vez que a descarga em curta distância é impossibilitada. Assim, a estrada se torna o agente de sua própria degradação.

Para Alves *et al.*, (2019), os procedimentos adotados nos projetos de implantação de traçados ou em caso de melhoramento da via devem ser feitos de

forma que o leito da estrada se mantenha o mais próximo possível da superfície do terreno com o sistema de drenagem sendo eficiente e suficiente.

De acordo com Santos *et al.*, (1988), outro ponto importante na reconformação da pista é se atentar à “bota dentro”, que ocorre quando a intervenção é feita de forma inversa, ou seja, ao invés de ser feita para dentro da linha central da via, fazendo o abaulamento, os materiais são jogados nas laterais, dessa forma a drenagem da água na via fica prejudicada, aumentando as péssimas características do solo no subleito. A maneira correta de se realizar esse processo é fazer como mostrado na Figura 37.

Figura 37: Exemplo de reconformação adequada da seção transversal da via usando a motoniveladora.



Fonte: Baesso e Gonçalves (2003).

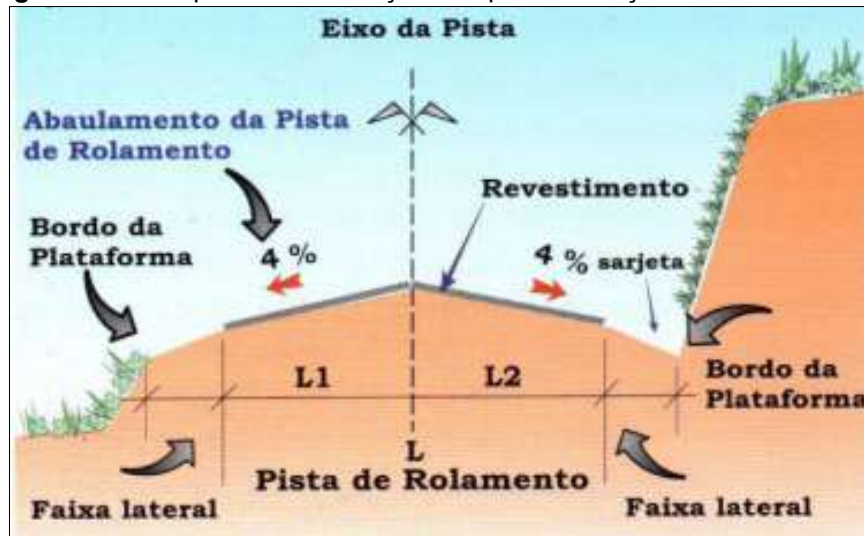
Pensando nisso, Baesso e Gonçalves (2003), pg. 30, colocam que falta capacitação profissional aos encarregados dos serviços responsáveis por essas estradas, se iniciando aí um círculo vicioso em que as prefeituras têm demanda de máquinas e equipamentos rodoviários e serviços de manutenção das estradas, porém não conseguem consertar definitivamente o problema, uma vez que as causas principais e maiores não são removidas. Eles citam algumas estratégias para o equacionamento da manutenção das estradas rurais que são:

- Adequação de estradas: correção de problemas, especificamente aquelas cujas condições planialtimétricas apresentem problemas semelhantes aos já abordados, esses eventos podem ser solucionados de várias formas, entre eles fazendo uma adequação radical que é a mudança total do perfil da via;
- Programas de capacitação: São iniciativas que contemplam primeiramente treinamento nas áreas de capacitação profissional, direcionados principalmente aos operadores de máquinas e equipamentos rodoviários, o objetivo dessa iniciativa é mudar radicalmente a forma de abordagem das demandas à que o trabalhador está sujeito, podendo ser implementado em uma etapa posterior ao treinamento específico do pessoal. Os tópicos a serem abordados nesses programas também devem incluir itens como: noções de custo de manutenção, tipos de materiais que podem ser utilizados na obra, conceitos de drenagem superficial, a importância da cobertura vegetal para se obter a perenização das áreas marginais e dos elementos de drenagem, manutenção preventiva do equipamento, sinalização emergencial, entre outros.

Para Alves *et al.*, (2019), a conformação das condições de trafegabilidade de um trecho de estrada vai depender da condição do desenho da pista de rolamento no que diz respeito ao aspecto final de sua seção transversal. No momento da realização da obra, não deve ser utilizado inclinações abaixo do recomendado, pois ao fazer isso, a via estará sujeita ao aparecimento de problemas que rapidamente irão diminuir a qualidade da pista e sua trafegabilidade na forma de depressões e irregularidades. Da mesma forma, não deve ser utilizado inclinações acima do ideal, pois isto irá transmitir uma sensação de insegurança ao usuário trazendo um desconforto que fará com que ele transite na faixa central da via, mesmo a pista tendo largura generosa.

O aspecto final da seção transversal da estrada deve resultar em uma linha partindo do eixo da pista em direção do seu bordo lateral (BAESSO e GONÇALVES, 2003), conforme mostra a Figura 38, é de extrema importância atingir este formato de seção, o que não ocorre na maioria das vezes em campo pelos operadores de motoniveladoras, pois estes tendem a produzir seções nos mais variados formatos.

Figura 38: Exemplo de conformação adequada da seção transversal da via.



Fonte: Baesso e Gonçalves (2003).

Estas soluções são somente algumas das disponíveis para implementação nas estradas, existem outras abordagens, como por exemplo o monitoramento constante das condições da pista usando de tabelas referenciadas, o que ajuda a encontrar o momento ideal de manutenção das estradas.

Como foi visto nesta seção, são diversos os problemas e defeitos a que estão sujeitas as estradas vicinais, sendo uma das principais causas destes problemas a água. Devido a isso, é necessário um olhar atento à necessidade de sua manutenção constante, pois sua situação pode piorar rapidamente depois de algumas chuvas e, se não for feito o tipo correto de intervenção, a situação tende a piorar até a via ficar intransitável, causando prejuízo econômico e problemas relacionados à dificuldade de acesso das pessoas aos centros urbanos.

As formas de manutenção e os equipamentos usados para esse tipo de serviço são variados, porém é necessário um olhar atento da equipe designada para a execução da manutenção como forma de encontrar a melhor técnica para introduzir na via de acordo com as necessidades.

Na próxima seção, será mostrado um estudo de caso feito na região do Ambrósio em Capitólio-MG, em que foi aplicado algumas soluções mostradas anteriormente.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, será mostrado um estudo de caso, da intervenção feita na estrada da região do Ambrósio em Capitólio - MG, em que foram aplicados os métodos contidos na seção anterior, com uma crítica ao seu atual estado baseado em autores renomados.

Baseado nele, será apresentada a visão dos autores sobre o estado atual da estrada, o que é muito importante para identificar problemas e não cometer nas manutenções futuras os mesmos erros ocorridos no passado.

6.1 Estudo de Caso: Sub-bacia do Ambrósio em Capitólio - MG

6.1.1 Contextualização da estrada

A região que compõe a sub-bacia do Ambrósio é uma área, segundo Soares *et al.*, (2017), de alta declividade, com as estradas da região acompanhando esta característica, ou seja, são vias sem um revestimento primário protegendo o solo e com variações bruscas na altura, em alguns trechos o trânsito não é tão significativo, porém há consideráveis pontos de erosão que são responsáveis em partes pela contribuição dos sedimentos que vão para o curso de água localizado abaixo da estrada, contribuindo de forma negativa para o equilíbrio hidro ambiental da bacia.

Outro ponto destacado por Soares *et al.*, (2017), é de que existe uma grande contribuição das áreas à montante da estrada, pois são formadas por uma topografia acentuada, além de pastagens cultivadas com braquiária (*Brachiaria brizantha*) e invariavelmente degradadas, fazendo com que a água não fique retida no solo destes locais, escorrendo assim para as estradas, o que causa o assoreamento do ribeirão do Ambrósio. Devido ao fato das pastagens se encontrarem degradadas e a estrada estar localizada em áreas de grande declividade, observa-se a formação dos chamados **pontos de estrangulamento**, que comprometem significativamente a

bacia e são os principais causadores de enchentes, que também afetam o curso de água.

Pensando nos benefícios para a região na recuperação dos recursos hídricos do ribeirão do Ambrósio, a PMC, no ano de 2020, realizou a readequação de alguns trechos desta estrada, a proposta do projeto foi feita com o auxílio técnico da COPASA, ANA, EMATER - MG e o Setor de Agricultura, Pesca e Meio Ambiente do município.

De acordo com os dados coletados no site da PMC (2021), para a realização dos trabalhos na estrada do Ambrósio, utilizaram-se os recursos provenientes de um repasse feito pela ANA, a empresa vencedora da licitação foi a CENGE ENGENHARIA LTDA, com a proposta de R\$285.300,00 (Duzentos e oitenta e cinco mil e trezentos reais), que incluía os seguintes serviços e materiais:

- a) barragens;
- b) abaulamento e confecção de saídas de água;
- c) cascalhamento da via – Trecho de 4km;
- d) utilização de material ligante como revestimento primário – Trecho de 3km;
- e) implementação de 2 passagens molhadas;
- f) instalação de passagem de água com auxílio de manilhas – 5 no total;
- g) cascalho – 200 caminhões com 10 m³ cada.

O valor descrito acima era uma empreitada global, ou seja, com materiais e mão de obra por conta da empresa que iria prestar os serviços, então o valor final já incluía as horas de caminhão e outras máquinas necessárias para a conformação adequada da via.

A estrada a ser adequada e recuperada está representado na Figura 9 (já mostrada) e tem um comprimento de 9,5km dentro da sub-bacia do Ambrósio (SOARES, 2017).

Conforme mostrado na Figura 9, ela foi dividida em quatro trechos distintos, isso foi feito de acordo com Soares *et al.*, (2017), pois cada local necessitava de um diferente tipo de intervenção, então a proposta feita pela equipe técnica teria de atender a todos de forma diferente. Estes trechos são o Principal, Facãozinho, Morro do Chapéu e Laticínio.

6.1.2 Análise da situação atual da estrada

As obras do Ambrósio terminaram em julho de 2020, e após um ano desde sua última manutenção, nenhuma intervenção foi feita no local.

De acordo com um estudo feito por Nunes (2003), que fez um método de previsão de defeitos em estradas vicinais de terra, o local já deveria ter sofrido vários procedimentos de manutenção e conservação, isso se deve pelo fato da estrada já ter passado por todas as quatro estações do ano, principalmente a da primavera, que é uma estação de muita chuva na região, em que conseqüentemente os sedimentos soltos na estrada são transportados até as bacias de contenção, gerando o assoreamento e demonstrando a falta de eficácia desse sistema para as próximas chuvas que virão.

Para fins de estudo e comparação, realizou-se uma análise visual e fotográfica no local para localizar indícios de falta de manutenção, procedimentos incorretos e descaso do poder público. Essas condições foram fotografadas e apontadas no decorrer deste trabalho, assim como suas possíveis causas baseando-se nos principais autores da área.

Durante o estudo foi percorrido pelo autor os 9,5km da estrada do Ambrósio, partindo das imediações do trecho da estrada principal e seguindo por todo percurso até o trecho que vai para o Morro do Chapéu, durante este percurso foi feito um registro fotográfico dos pontos críticos para posterior comparação com o que é dito pelos autores acerca dos defeitos encontrados. Este tipo de abordagem se mostra muito promissora, uma vez que é possível identificar possíveis defeitos no projeto e também destacar o que está errado na situação atual da via.

De acordo com o mostrado nas Figuras 39 e 40, na primeira está destacado a situação no momento da intervenção, e na outra a situação após um ano. Existe uma grande quantidade de cascalho solto e muita poeira.

Figura 39: Imagem de antes, no momento da intervenção no trecho principal do Ambrósio.



Fonte: Autor (2020).

Figura 40: Imagem depois da intervenção no trecho principal do Ambrósio.



Fonte: Autor (2021).

Baseado em Almeida (2017) e na situação observada em campo, que pode ser vista na Figura 39, pode se chegar nas seguintes conclusões:

- a) o cascalho foi espalhado pela pista de forma correta, porém não houve a sua compactação correta, ou seja, a empresa que executou o traçado não se preocupou em compactar o local com um rolo pé de carneiro e usar uma camada de revestimento primário com o material ligante, que geralmente é o cascalho e a argila.
- b) conforme é mostrado na Figura 39, possivelmente não se respeitou a umidade ideal da mistura, pois existe muita poeira e material sólido solto no centro da seção da pista.
- c) de acordo com o que foi visto *in loco*, a seção transversal da pista atende em sua maior parte a inclinação necessária, porém o trecho apresenta sulcos longitudinais que indicam a passagem da água da chuva pelo meio do traçado. Um dos motivos para este problema pode ser a falta de compactação do local que ocasionou sedimentos soltos na pista e com a chuva foram carregados, causando esses problemas.

Como solução para a situação atual, Baesso e Gonçalves (2003) apresentam os seguintes pontos:

- a) no caso da poeira, é necessário fazer uma escarificação da camada final da pista de rolamento, após esta etapa, fazer a regularização com a reconformação da superfície escarificada, fazendo passagens com a motoniveladora que tem como objetivo a mistura dos materiais. Após, deve-se fazer a aplicação do redutor de pó por método de espargimento com alta pressão, geralmente com redutores lino-sulfatos, em seguida realizar o abaulamento da estrada e compactação na umidade ótima e restauração da drenagem superficial.
- b) para o problema de perda de agregados, é necessária a regularização simples da pista de rolamento com a adição de uma fração do material ausente na mistura, que no caso do Ambrósio foi a argila, caso o nível de desagregação seja intenso, é recomendado o corte de toda a camada, adição de frações desses agregados ausentes, mistura, umedecimento em teor ótimo e posterior reconformação da pista com compactação final.

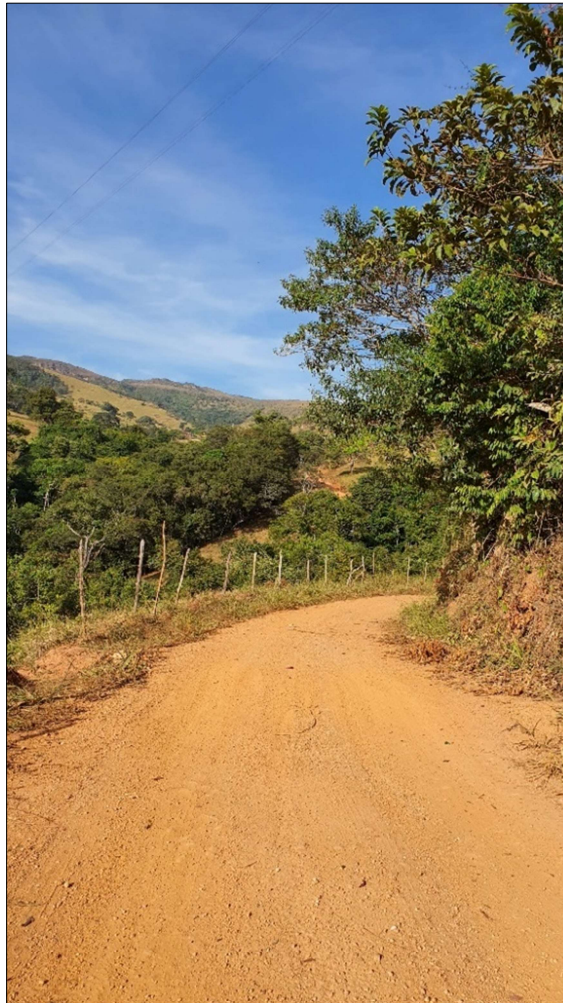
Já nas Figuras 41 e 42, está representado outra parte do trecho principal da estrada, os problemas encontrados foram sulcos longitudinais ao longo do eixo da via além de poeira e cascalho.

Figura 41: Imagem antes, no momento da intervenção no trecho principal do Ambrósio.



Fonte: Autor (2020).

Figura 42: Imagem após a intervenção no trecho principal do Ambrósio.



Fonte: Autor (2021).

Baseado em Santos *et al.*, (1988) e na imagem tirada anteriormente, na época da intervenção, apresentada na Figura 41, existem alguns pontos a serem pautados sobre esse trecho de acordo com a sua condição atual:

- a) nesse local, foi feita a compactação com rolo pé de carneiro usando um revestimento primário composto por argila e cascalho, porém a empresa não se preocupou em fazer este processo usando uma umidade ótima, o que acabou por comprometer o serviço, já que atualmente o trecho apresenta poeira e sedimentos em excesso.
- b) atualmente, conforme é mostrado na Figura 42, o local se encontra com vários sulcos longitudinais, a causa destes problemas é a falta de conformação da seção transversal da estrada, ou seja, a empresa realizou o abaulamento

somente para o lado direito, assim a água da chuva passava no meio da pista de rolamento carregando o material.

Além das soluções apresentadas anteriormente na página 80, para a poeira e a perda de agregados, Baesso e Gonçalves (2003), citam a seguinte solução:

- a) para o problema de inconformidade da seção transversal o recomendado é fazer o abaulamento para ambos os lados na superfície de tráfego em percentual de declividade na casa dos 4%, de maneira a conduzir corretamente a água e também a aplicação de uma camada de revestimento com compactação do solo.

Para o trecho representado pela Figura 43, de acordo com o manual feito por Baesso e Gonçalves (2003), pode-se chegar às seguintes conclusões:

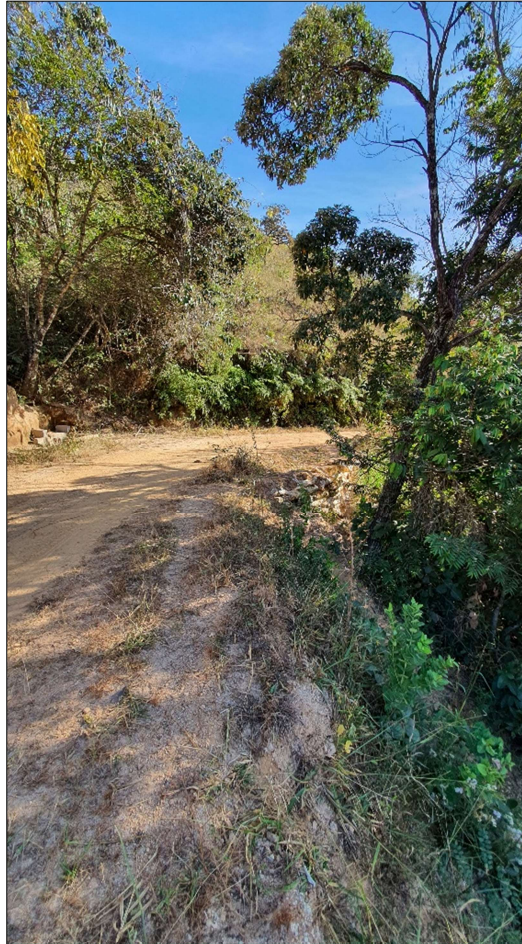
- a) neste local foi feita a patrolagem com a motoniveladora na época da realização da intervenção, porém a conformação atual da seção da estrada não está adequada, pois no meio da via o perfil está reto, como mostra a Figura 44, o que indica uma capacidade de escoamento de água baixa neste ponto, gerando acúmulo de líquido.
- b) não foi feita a compactação com o rolo pé de carneiro adicionando uma camada de revestimento primário. Devido à falta deste procedimento o solo do local apresenta perda de agregados e poeira.
- c) após os 10 meses sem manutenção, de acordo com o mostrado na Figura 41, a via já apresenta uma baixa capacidade de suporte, já que é possível ver os locais onde houve o afundamento de trilha de roda, ficando mais visível onde houve perda de agregados, porém estes problemas estão em um nível de severidade pouco avançado, sendo de fácil manutenção. Entretanto, é necessária uma intervenção mais cuidadosa e técnica, já que tudo indica que a maneira como foi feita a manutenção anterior prejudicou algumas partes do trecho por ser um local de baixa declividade e pouco fluxo de veículos.
- d) o sistema de drenagem implementado no local, que é uma sangra com auxílio de um bueiro, se apresentou de ótima serventia pois não havia marcas de erosão nas laterais da via e nem a jusante, que é para onde a água escorre rumo ao ribeirão do Ambrósio, sendo assim, esta intervenção impediu que os sedimentos fizessem o assoreamento do corpo hídrico.

Figura 43: Imagem antes, no momento da intervenção no trecho principal do Ambrósio.



Fonte: Autor (2020).

Figura 44: Imagem atual, após a intervenção, no trecho principal do Ambrósio.



Fonte: Autor (2021).

Além das soluções já apresentadas na página 80 e 83 para a perda de agregados, poeira e seção transversal incorreta, as recomendações para os demais problemas seriam:

- aplicação de uma camada de reforço de revestimento primário, fazendo todo o processo de compactação em uma umidade ótima.

Baseado no estudo de Dadalto *et al.*, (1990) sobre a captação de águas em estradas vicinais, foi constatado no trecho mostrado na Figura 45, os seguintes problemas:

- a) não foi feita uma conformação adequada da seção da pista e nem feito uma aplicação de revestimento primário e compactação.
- b) também foi construído um sistema de drenagem chamado de passagem molhada, que tem como função impedir que a enxurrada que passa no local em tempos chuvosos de fazer uma erosão na estrada impossibilitando assim a

sua travessia, no caso deste trecho o sistema se comportou bem, como visto na Figura 46, não havia sinais de falha a montante e nem a jusante do local onde o sistema foi instalado.

Figura 45: Imagem antes, no momento da intervenção no trecho principal do Ambrósio.



Fonte: Autor (2020).

Figura 46: Imagem atual, após a intervenção, no trecho principal do Ambrósio.



Fonte: Autor (2021).

Neste trecho, que está localizado no final do segmento principal, não houve muita intervenção por parte dos responsáveis técnicos, sendo limitado a instalação do dispositivo de drenagem chamado de passagem molhada, ou seja, careceu de uma maior aplicação de recursos pelos responsáveis do projeto.

No final deste trecho moram somente duas pessoas nas proximidades, este pode ser um dos fatores que influenciaram a falta de intervenção no local, porém esta não deve ser uma justificativa para a falta de manutenção, pois todos têm direito a uma boa estrada para a sua circulação.

Os problemas encontrados neste segmento foram alta quantidade de agregados soltos. As soluções que podem ser implementadas neste local são os descritos anteriormente na página 80, que devem ser aplicados nos problemas relacionados a agregados soltos na pista de rolamento. Esta é uma via de volume baixo de veículos, entretanto deve ser feito as melhorias propostas como forma de atender a população que ali reside, pois todos têm o direito de ter uma via segura e com boa trafegabilidade para suprir as necessidades de deslocamento diário.

Apesar da via não atender corretamente as condições ideais de tráfego, o sistema de drenagem implementado no local atende os requisitos de drenagem citados por Dadalto *et al.*, (1990), funcionando de forma eficaz para evitar a sedimentação do curso de água, que é um dos principais objetivos da intervenção.

No trecho ilustrado pela Figura 47, de acordo com Nunes (2003), foram feitas as seguintes observações quanto ao estado atual da via:

- a) no local foi realizado a conformação da estrada, introdução de uma sangra com auxílio de bueiro e foram usados bambus, para diminuir a velocidade da água da chuva, este último sistema foi implementado com o objetivo de impedir o transporte de sedimentos até o curso de água.
- b) não foi realizado pela empresa contratada a compactação com rolo pé de carneiro e logo após a aplicação de um revestimento primário, observou-se a formação de poeira, além da alta quantidade de agregados soltos na pista.
- c) outro erro cometido nesse trecho foi o fato de que deveriam haver mais sangras com um espaçamento menor ou a aplicação de outro sistema de drenagem lateral, a falta desses sistemas causou a erosão das valetas laterais pois o volume de água excedeu o volume de projeto, conforme é mostrado na Figura 48.
- d) houve também erosão na pista pois a água que excedia passava por cima da seção transversal, fazendo com que ela se tornasse intransitável pois as rodas dos veículos não tinham o atrito necessário para subir. Destaca-se que este foi o local mais crítico para o correto funcionamento do trânsito.

Figura 47: Imagem antes, no momento da intervenção no trecho Morro do Chapéu do Ambrósio.



Fonte: Autor (2020).

Figura 48: Imagem atual, após a intervenção, no trecho Morro do Chapéu do Ambrósio.



Fonte: Autor (2021).

Além disso, conforme dados dos estudos de Baesso e Gonçalves (2003), neste mesmo local também foi aplicado o sistema de barragens de captação para evitar que a água da chuva fosse para o manancial junto com os sedimentos, mas esta não suportou o volume de água e se rompeu, conforme as Figuras 49 e 50, que mostram o antes e o depois.

Figura 49: Imagem antes, no momento da intervenção no trecho Morro do Chapéu do Ambrósio.



Fonte: Autor (2020).

Figura 50: Imagem atual, após a intervenção, no trecho Morro do Chapéu do Ambrósio.



Fonte: Autor (2021).

Soares *et al.*, (2017) dizem que são necessários alguns cuidados na implementação dessas barragens, a partir das suas considerações pode se concluir que os prováveis fatores que causaram a falha da estrutura foram:

- a) existe uma grande quantidade de água que passa ali, sendo assim, apesar da barragem estar bem dimensionada, seria necessário mais destes dispositivos no trecho para diminuir o volume total de água que chega na barragem.
- b) o ladrão de água que tira o líquido pode ter falhado, a implementação deste componente deve ser feita em solo firme, sem aterro, é necessário um profissional capacitado para acompanhar a equipe ao executar a obra.
- c) a empresa responsável pode ter construído a barragem utilizando de solo de aterro, o que compromete a capacidade de suporte do solo do local, novamente é um erro que pode ser solucionado com a presença de um profissional capacitado.

Este trecho, que se refere ao Morro do Chapéu, é um dos mais problemáticos e segundo Soares *et al.*, (2017) também é um dos mais críticos para a boa conservação do ribeirão do Ambrósio, pois apesar de não ter grande fluxo de veículos, se trata de um trecho de alta declividade, além de estar próximo de onde passa a água, o que conseqüentemente faz dele um grande contribuinte para os sedimentos que chegam ao ribeirão.

Na Figura 51, está representado outra parte do trecho do Morro do Chapéu, ele fica a montante do local mostrado nas Figuras 49 e 50, neste segmento foram instaladas barragens de captação previstas de acordo com o recomendado por Santos *et al.*, (1988), elas têm como finalidade diminuir a vazão de água que chega à parte mais baixa deste trecho, representado na Figura 46 e 47, porém não houve sucesso. De acordo com a visita feita *in loco*, a situação atual é descrita da seguinte maneira:

- a) no momento da intervenção, foi realizado a patrolagem no local, porém sem a compactação e adição de camada de revestimento primário. Devido a esse fator, houve um agravamento da poeira e sedimentos na pista, mostrado na Figura 52, que ocasionou grande volume de agregados soltos, impossibilitando o tráfego na via devido à perda do atrito dos pneus e o trecho íngreme.
- b) as bacias de captação instaladas estavam com grande quantidade de sedimentos das últimas chuvas e não suportariam o volume de água da próxima chuva (que já ocorreu), havendo grande possibilidade de rompimento e com isso levar os sedimentos até o curso de água a jusante.

Figura 51: Imagem antes, no momento da intervenção no trecho Morro do Chapéu do Ambrósio.



Fonte: Autor (2020).

Figura 52: Imagem atual, após a intervenção, no trecho Morro do Chapéu do Ambrósio.



Fonte: Autor (2021).

Como forma de intervenção, baseado nos métodos propostos por Baesso e Gonçalves (2003) e Santos *et al.*, (1988), é necessária a aplicação das medidas descritas na página 80, para o controle da poeira e agregados, porém o mais importante seria a implementação de um sistema de drenagem mais eficaz ao longo do trecho, com um distanciamento menor, fazendo com que a distância de contribuição entre essas obras fosse menor e, conseqüentemente, também o volume do fluido que passa por ali.

No local representado pela Figura 53, foi feita outra implantação do sistema de passagem molhada, ele é previsto no manual de drenagem proposto por Dadalto

et al., (1990), e durante a visita realizada no momento do projeto e baseado nos dados do autor, houve a identificação dos seguintes problemas:

- a) a declividade do trecho é alta, conseqüentemente o volume de água que passa durante o período chuvoso é grande. Com isso houve evasão de água do sistema de passagem molhada, o que acarretou em um pouco de erosão na via, mostrado na Figura 54.
- b) apesar do trecho da estrada ter sido conformado, foi aplicado abaulamento somente para um dos lados, o que acarretou sulcos longitudinais na via, que pode ser visualizado na figura 54, eles são resultados da água escorrendo pelo meio da seção transversal da pista.
- c) a falta de revestimento primário e compactação também causou aumento de poeira e sedimentos na via.

Figura 53: Imagem antes, no momento da intervenção no trecho Morro do Chapéu do Ambrósio.



Fonte: Autor (2020).

Figura 54: Imagem atual, após a intervenção, no trecho Morro do Chapéu do Ambrósio.



Fonte: Autor (2021).

A empresa responsável e o poder executivo não disponibilizaram a atenção necessária para esse trecho, talvez devido ao fato de ser um local com baixo fluxo de veículos, pois somente uma pessoa mora nas proximidades, porém vale frisar que essa possibilidade não deve ser aceita como argumento, afinal todos os cidadãos têm direito a uma estrada de qualidade e segura.

Entretanto, vale ressaltar, que de acordo com os dados de Soares *et al.*, (2017), este trecho deveria ter sido tratado com mais cuidado pois se encontra próximo à nascente do ribeirão do Ambrósio, além de estar em um terreno de alta declividade, o que pode contribuir para o assoreamento do curso d'água.

Como forma de solucionar os problemas do local, baseado nos estudos de Baesso e Gonçalves (2003) e Dadalto *et al.*, (1990), a alternativa mais viável economicamente, por se tratar de uma via de baixo fluxo de veículos, seria a implementação de mais sistemas de drenagem como as barragens de contenção, a jusante da estrada, o que diminuiria o fluxo de sedimentos que são transportados até o curso de água, impedindo o seu assoreamento. A conformação correta da seção da via, como já pautada anteriormente, aliada às soluções de redução de poeira e agregados na estrada, também contribuiria para o correto funcionamento dos sistemas de drenagem.

Outro trecho de grande descaso foi o mostrado na Figura 55, ele é de alto fluxo de veículos, pois atende a um laticínio na região, seguindo o apresentado por Baesso e Gonçalves (2003), o local apresentou os seguintes problemas durante a visita realizada após 12 meses da última intervenção:

- a) a conformação da estrada foi realizada corretamente com a motoniveladora.
- b) houve a introdução de uma barragem de captação no final desse trecho.
- c) como só foi instalado uma barragem após um trecho de grande inclinação, isso resultou em sulcos longitudinais, ocasionados pelo volume de água que descia pela estrada.
- d) não foi feita a correta compactação com o rolo pé de carneiro e uso de revestimento primário, a falta desta etapa resultou em perda de agregados e poeira no local.
- e) no momento da visita *in loco*, a barragem encontrava-se cheia de sedimentos, como é mostrado na Figura 56.

Figura 55: Imagem antes, no momento da intervenção no trecho laticínio do Ambrósio.



Fonte: Autor (2020).

Figura 56: Imagem atual, após a intervenção, no trecho laticínio do Ambrósio.



Fonte: Autor (2021).

Como forma de solução do problema, o manual de Dadalto *et al.*, (1990), mostra que deveria ter sido introduzido outra barragem de captação à montante para diminuir o volume de água na barragem ao final do trecho e também a inserção de

bambus para diminuir a velocidade da água. Além disso, o trecho descrito recebe grande fluxo de veículos, por esse motivo é de extrema importância a aplicação dos métodos descritos na página 80, como forma de diminuir a poeira e os agregados soltos na pista, sendo também necessária a implantação de cronograma para limpeza das barragens construídas, evitando que fiquem cheias durante o período chuvoso.

O local representado pela Figura 57, é uma via de média densidade de veículos, ao contrário da via anterior, de alto fluxo.

Figura 57: Imagem antes, no momento da intervenção no trecho Facãozinho do Ambrósio.



Fonte: Autor (2020).

Durante a visita *in loco*, foi contatado segundo Baesso e Gonçalves (2003) e Santos *et al.*, (1988) que:

- a) do sistema de oito barragens de captação instaladas, existem atualmente somente sete.
- b) o local está repleto de sulcos transversais, conhecidos como corrugações, conforme ilustrado na Figura 58.
- c) nesse trecho foi detectado que um dos bigodes construídos para encaminhar a água da estrada até a barragem de captação estava em um nível maior que o da estrada, o que impossibilita o líquido de adentrar o sistema.
- d) existe grande quantidade de agregados soltos pela pista, de acordo com a Figura 58, o que indica falta de compactação ou solo com uma capacidade de suporte baixa.

Figura 58: Imagem atual, após a intervenção, no trecho Facãozinho do Ambrósio.



Fonte: Autor (2021).

Como forma de solucionar o problema ali presente, Baesso e Gonçalves (2003) indicam a necessidade de reconformação da estrada a fim de retirar as corrugações existentes, este processo aliado a compactação usando um material de reforço, em conjunto com um material ligante para revestimento primário, irá reforçar a estrada, evitando a perda de agregados e a criação de novos sulcos longitudinais.

Como foi apresentado nesta seção, o ambiente de recuperação de uma estrada vicinal não pavimentada é cheio de incógnitas e é dever do responsável técnico pelo projeto saber a melhor intervenção para determinado local. Essas ações vão divergir principalmente de acordo com o tipo de solo encontrado na região, inclinação do terreno, da vegetação e a precipitação anual.

Também foi abordado os problemas que foram encontrados no estudo de caso do Ambrósio em Capitólio - MG, e também as soluções para serem aplicadas neste local, de acordo com a bibliografia mais atual existente.

7 CONCLUSÕES

O projeto de recuperação de uma estrada envolve vários fatores. No estudo de caso realizado envolveu a proteção ambiental do curso de água existente, porém a proposta apresentada foi falha pela falta de recursos que seriam aplicados na intervenção, é importante destacar a necessidade de se derrubar a EC 95/2016 que mantém por 20 anos o limite de valor para investimentos públicos, evitando assim que as correções devido a inflação sejam feitas, piorando ainda mais a situação já que irá faltar repasse do Governo Federal para o município de Capitólio. O sistema poderia ter sido mais eficaz se o capital investido na manutenção da estrada fosse maior, como por exemplo, no aumento do número de barragens espalhadas pela estrada ou na quantidade total de revestimento primário aplicado na via.

Para o estudo de caso citado no trabalho e baseado nas observações feitas em campo na época das intervenções e de acordo com os dados obtidos pelos estudos de Santos *et al.*, (1988) e Baesso e Gonçalves (2003), um dos fatores que devem ser levados em conta como causa das falhas encontradas pode ser a falta de técnica da empresa que executou o projeto, seja pela falta de conhecimento do material a ser adicionado nos trechos ou pela falta de treinamento dos operadores das máquinas, outra possibilidade é a falta de fiscalização por parte dos órgãos municipais que, por falta de pessoal, não fiscalizou corretamente o andamento das obras.

O processo de manutenção das estradas não pavimentadas é um serviço caro, pois deve ser feito constantemente, além de ser necessária muito conhecimento técnico para o pessoal responsável por executar a obra.

O órgão responsável, no caso a Prefeitura Municipal de Capitólio, em especial o setor que zela pela parte de infraestrutura e Engenharia da cidade, também deve estar ciente que essas vias precisam de manutenção constante, e não somente quando estão intransitáveis ou em estado deplorável, isso pode ser resolvido pela contratação de pessoal com a capacidade técnica necessária para estes tipos de intervenção nas estradas, ou seja, abertura de concursos públicos para profissionais capacitados.

Por fim é sempre necessário a melhoria da estrada que como resultado proporcionará segurança e conforto para os usuários. Além disso, estas intervenções trazem para a cidade vários investimentos como novas empresas, valorização dos terrenos, diminuição do problema de assoreamento de cursos de água.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É de extrema importância aumentar o número de trabalhos acadêmicos sobre o tema, além de mais estudos na área, a fim de aperfeiçoar os métodos descritos nos manuais já existentes e possibilitar a criação de novos materiais.

Como forma de prever problemas nas vias, é recomendado no mínimo duas vistorias anuais, uma antes do período de maior índice chuvoso e outra após. O momento correto depende de quando ocorre as chuvas na região, por isso será diferente em cada parte do país. No Ambrósio a intervenção deve ser feita antes do mês de novembro e após o mês de abril.

Este tipo de ação quando é feito antes das chuvas tem como objetivo verificar o estado da estrada naquele momento, ou seja, é uma ação preventiva, que pode ou não recomendar adequações para garantir o bom funcionamento dos sistemas de drenagem durante as chuvas, pois como foi visto neste trabalho existem vários fatores capazes de interferir no bom funcionamento destes equipamentos. As adequações vão variar de acordo com o que for visto em campo pelo profissional capacitado, variando desde uma simples limpeza nas bacias de captação até uma correção na seção transversal da estrada a fim de regularizar possíveis buracos, pontos de atoleiro, etc.

No caso da vistoria feita após o período chuvoso, ela busca solucionar possíveis problemas, ou seja, é corretiva, então é necessário buscar sinais de falha nos sistemas de drenagem como por exemplo o rompimento de barragens de captação, buracos, atoleiros, deformações na estrada.

Com isso o responsável técnico irá requisitar manutenções corretivas na via ou não. Isto será uma forma de estender a vida útil da estrada até o próximo período chuvoso e durante o ano, pois existem as chuvas que acontecem fora de época, além disso serve também como aprendizado, pois mostra ao vistoriador os pontos mais críticos da estrada. Este tipo de experiência pode gerar soluções que evitariam os mesmos problemas no futuro.

O ideal em todos os casos é que o poder executivo deve fazer um estudo de viabilidade econômica na região para pavimentação asfáltica deste tipo de via, com

a implementação de um sistema de drenagem eficiente e moderno para este tipo de pista, pois a longo prazo se torna um serviço dispendioso, que pode ser resolvido de forma definitiva pela adoção de uma via pavimentada.

REFERÊNCIAS

ACRA, Aloysio Miguel. **Captação e Aproveitamento de Águas Pluviais das Estradas**. São Paulo: [s. n.], 1988. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1CKGVhd6KEOrYzOYg-wa9H7hs9EAMbtaQ/view?usp=sharing>. Acesso em: 11 nov. 2021.

ALMEIDA, Igor Ferreira de. SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 21., 2017, Feira de Santana. **Anais [...] Análise das Estradas Vicinais do Distrito de Bonfim de Feira – Feira de Santana (BA) [...]**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: [http://periodicos.uefs.br/index.php/semic/article/view/2465#:~:text=Assim%20como%20a%20maioria%20das,realizado%20por%20Concei%C3%A7%C3%A3o%20\(2014\)](http://periodicos.uefs.br/index.php/semic/article/view/2465#:~:text=Assim%20como%20a%20maioria%20das,realizado%20por%20Concei%C3%A7%C3%A3o%20(2014).). Acesso em: 26 fev. 2021.

ALMEIDA, Ricardo Venescau de Oliveira. **CONCEPÇÃO DE MODELOS DE AVALIAÇÃO DE CONDIÇÕES DE ROLAMENTO E INDICAÇÃO DE PRIORIZAÇÃO DE VIAS COMO ETAPAS DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará, [S. l.], 2006. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/1815>. Acesso em: 9 ago. 2021.

ALMEIDA, Ricardo Venescau De Oliveira. **O que são Estradas Vicinais e qual a sua importância?**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://inbec.com.br/blog/o-que-sao-estradas-vicinais-qual-sua-importancia>. Acesso em: 26 fev. 2021.

ALVES, Ludmila Loures; OLIVEIRA, Ricardo Fonseca. **Avaliação da necessidade de readequação de estradas rurais: estudo de caso em estrada não pavimentada no município de Monte Carmelo/MG**, [s. l.], 2019. Disponível em: <http://repositorio.fucamp.com.br/bitstream/FUCAMP/516/1/Avaliacaonecessidaderea%20dequacao.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2020.

ARAÚJO, Thiago Peixoto. **Estudo do desencadeamento das erosões lineares concentradas em uma área do município de São Pedro-SP**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de São Paulo, [S. l.], 2011. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-06122011104236/publico/dissertacao_thiago.pdf. Acesso em: 18 out. 2021.

BAESSO, Dalcio Pickler; GONCALVES, Fernando Luiz. **Técnicas Adequadas de Estradas de Terra**. [S. l.: s. n.], 2003. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/409445208/Tecnicas-Adequadas-de-Estradas-de-Terra-Baesso-e-Goncalves-pdf#download>. Acesso em: 26 fev. 2021

BARAT, Josef. **O custo da deficiência brasileira** [S. l.], 1 maio 2002. Disponível em: https://www.sescsp.org.br/online/artigo/1661_O+CUSTO+DA+DEFICIENCIA+BRASILEIRA. Acesso em: 8 nov. 2021.

MARTINS, Ricardo Silveira; FILHO, José Vicente Caixeta. **O DESENVOLVIMENTO DOS SISTEMAS DETRANSPORTE: AUGUE, ABANDONO E REATIVAÇÃO RECENTE DAS FERROVIAS**. [S. l.] nov. 1998. Disponível em: <http://seer.upf.br/index.php/rtee/article/view/4786>. Acesso em: 8 nov. 2021.

CAMARGO, Pedro Luiz Teixeira de. **Soluções biogeográficas de geoconservação com ênfase nas relações entre solo, água e planta na Bacia do Rio Pardo e suas adjacências, São Francisco, Norte de Minas Gerais**. 2018. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO, [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/10580>. Acesso em: 20 jul. 2021.

CASARIN, RUI DONIZETE. **CONTROLE DE EROSÃO EM ESTRADAS RURAIS NÃO PAVIMENTADAS, UTILIZANDO SISTEMA DE TERRACEAMENTO COM GRADIENTE ASSOCIADO A BACIAS DE CAPTAÇÃO**. 2009. Dissertação (Mestre em Agronomia: Área de Concentração em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, [S. l.], 2008. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/93814>. Acesso em: 9 ago. 2021.

CUNHA, Márcia Cristina da; LOPES, Edivaldo Thomaz; VESTENA, Leandro Redin. **Medidas de controle de erosão em estradas rurais na bacia do Rio das Pedras, Guarapuava-PR**. Sociedade e Natureza, [S. l.], p. 107-118, 12 out. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/sn/v25n1/09.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2021.

DADALTO, Gilmar Gusmão; FILHO, Otacílio Geraldo Do Carmo; CASTRO, Lucio Lívio Froes De. **Captação de Águas Pluviais em Estradas Vicinais**. [S. l.: s. n.], 1990. Disponível em: https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/1127/1/BRT_captacaodeaguaspluviaisdasestradasvicinais-Emcapa.pdf. Acesso em: 23 fev. 2021.

DALOSTO, João Augusto Dunck; COLTURATO, Silvio Cesar Oliveira; PASQUALETTO, Antônio. **Estradas vicinais de terra: Estudo técnico da rodovia MT-336**. Enciclopédia Biosfera, [S. l.], p. 1637-1648, 20 jun. 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/304402197_ESTRADAS_VICINAIS_DE_TERRA_ESTUDO_TECNICO_DA_RODOVIA_MT-336. Acesso em: 23 fev. 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Breve Histórico do Rodoviarismo Federal no Brasil**. Brasil: DNIT, [2010-2021]. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/historico>. Acesso em: 26 fev. 2021.

FLEURY, Paulo. **GESTÃO ESTRATÉGICA DO TRANSPORTE**, [S. l.], 10 set. 2002. Disponível em: <https://www.ilos.com.br/web/gestao-estrategica-do-transporte/>. Acesso em: 8 nov. 2021.

GIMENEZ, Alexandre Monteiro. **Conservação e manutenção de estradas não pavimentadas: estudo de caso na estrada do bairro do Gramado**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em engenharia Civil) - Centro Universitário Antônio Eufrásio De Toledo De Presidente Prudente, [S. l.], 2019. Disponível em: <http://intertemas.toledoprudente.edu.br/index.php/ArqEng/article/viewFile/8360/67649506>. Acesso em: 16 dez. 2020.

LIMA, Leonel Sátiro de. **BACIAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS**. [S. l.: s. n.], 2011. Disponível em: <https://docs.google.com/document/d/1fIOYPY1t5h5e1W0mx8b0oe1I-sz8oH6r/edit?usp=sharing&oid=105063024750280686116&rtpof=true&sd=true>. Acesso em: 11 nov. 2021.

LIMA, Rafaela Martins de. **Pesquisa sobre Estradas Romanas - O porquê e como elas eram construídas**. 2019. Pesquisa (Bacharelado em engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-federal-da-paraiba/administracao-para-engenharia/outro/trabalho-sobre-estradas-romanas/4442055/view>. Acesso em: 20 jun. 2021.

MACEDO, Deivielison Ximenes Siqueira; SANTOS, Viviane Castro Dos; MONTEIRO, Leonardo De Almeida; COSTA, Enio; MELO, Rafaela Paula; NASCIMENTO, Henryque Candido Fernandes Do. **Quando utilizar subsolador e escarificador**. Cultivar Máquinas, [S. l.], p. 20-25, 16 fev. 2016. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/artigos/quando-utilizar-subsolador-e-escarificador>. Acesso em: 23 fev. 2021.

MARTINS, Ricardo Silveira; CAIXETA, José Vicente. **O desenvolvimento dos sistemas de transporte: auge, abandono e reativação recente das ferrovias**. Revista Teoria e Evidência Econômica, 6(11). Disponível em: <https://doi.org/10.5335/rtee.v6i11.4786>. Acesso em: 26 fev. 2021

MATOS, Luciana Correia Alcântara; ANDRADE, Nyelson Argolo. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 16., 2017, São Paulo. **Anais [...] Método de avaliação para estradas vicinais [...]**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: http://www.schenautomacao.com.br/cbge/envio/files/trabalho_247.pdf. Acesso em: 16 dez. 2020.

NEDEL, Éverton Colling; TEIXEIRA, Marcilio Baltazar; JUNIOR, Isaac Ramos. SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO - SIEPE, 9., 2017, Santana do Livramento. **Anais [...] Determinação da Espessura do Revestimento Primário em Estradas de Terra [...]**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq_trabalhos/12663/seer_12663.pdf. Acesso em: 16 dez. 2020.

NUNES, Tercia Valfrídia Lima. **Método de previsão de defeitos em estradas vicinais de terra com base no uso das redes neurais artificiais: trecho de Aquiraz-CE**. 2003. Dissertação (Mestre em Engenharia dos transportes) - Universidade Federal do Ceara, [S. l.], 2003. Disponível em: http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/4904/1/2003_dis_tvlnunes.pdf. Acesso em: 16 dez. 2020.

ODA, Sandra. **Caracterização de uma rede municipal de estradas não-pavimentadas**. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Transportes (Estradas e Aeroportos)) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-14012005-161818/pt-br.php>. Acesso em: 8 de nov. 2021.

OLIVEIRA, Eduardo. **Conceitos Iniciais e Classificação das vias**, 2016. 71 slides. Disponível em: <http://files.labtopope.com.br/200000909-dd878de817/Aula%2000_%20Conceitos%20iniciais_Classifica%C3%A7%C3%A3o%20das%20vias_Rev01.pdf>. Acesso em: 26/02/2021.

PEREIRA, José Manoel Francisco. **Diagnóstico dos Defeitos Superficiais da Estrada Vicinal Carás – Umari, no Município de Juazeiro do Norte**. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Construção Civil habilitação em Topografia e Estradas) - Universidade Regional do Cariri, [S. l.], 2017. Disponível em: http://wiki.urca.br/dcc/lib/exe/fetch.php?media=diagnostico_dos_defeitos_superficiais_da_estrada_vicinal_caras_umari_no_municipio_de_juazeiro_do_norte.pdf. Acesso em: 26 fev. 2021.

POR QUE O BRASIL DEPENDE TANTO DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO? Globo, São Paulo, 24 de maio. de 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/por-que-o-brasil-depender-tanto-do-transporte-rodoviario.ghtml>>. Acesso em: 26 de fev. de 2021.

SALOMÃO, Fernando Ximenes; IWASA, Oswaldo Yujiro. **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. [S. l.: s. n.], 1995.

SANTOS, Álvaro Rodrigues dos; PASTORE, Eraldo Luporini; JUNIOR, Fernando Augusto; CUNHA, Marcio Angelieri. **Estrada Vicinais de terra: Manual técnico para conservação e recuperação.** [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: http://acr.org.br/uploads/biblioteca/Manual_Estradas_Vicinais_PDF.pdf. Acesso em: 14 jul. 2021.

SANTOS, Álvaro Rodrigues dos; PASTORE, Eraldo Luporini; JÚNIOR, Fernando Augusto; CUNHA, Marcio Angelieri. **Estrada Vicinais de terra: Manual técnico para conservação e recuperação.** [S. l.: s. n.], 1988. Disponível em: <http://www.agp.org.br/wp-content/uploads/2012/02/Manual-de-Conserva%C3%A7%C3%A3o-e-Recupera%C3%A7%C3%A3o-de-Estradas-Vicinais-de-Terra.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2021.

SILVA, Raphaela Bemmuyal de Andrade da. **Máquinas e Equipamentos de Terraplenagem: Demonstração do Cálculo de Rendimento.** [s. l.], 2019. Disponível em: http://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/10202019_141046_5dac9a3e8af22.pdf. Acesso em: 8 abr. 2021.

SOARES, Alice Beatriz Pereira; ROCHA, Ailton César; ZOLNERKEVIC, Francisco; LIMA, Leonel Sátiro de; MOREIRA, Rafael Junio; RODRIGUES, Lucimar de Oliveira; SILVA, Ana Cláudia Nascimento e. **Proposta De Recuperação E Adequação Das Estradas Rurais Da Bacia Hidrográfica Do Ribeirão Ambrósio.** [S. l.: s. n.], 2017.

VIVIANI, Eliane. **A Utilização de um Sistema de Informação Geográfica como Auxílio à Gerência de Manutenção de Estradas Rurais não Pavimentadas.** 2018. Tese (Doutorado em Engenharia dos Transportes) - USP-Escola de Engenharia de São Carlos, [S. l.], 1998. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-02022018-150201/pt-br.php>. Acesso em: 26 fev. 2021.

ANEXO

ANEXO A – Manual de Cálculo para bacias de infiltração

BACIAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Determinação da distância entre as bacias, em função da variação do declive e da largura da estrada.

Declivi - dade (%)	Largura da estrada em metros							
	4	5	6	7	8	10	12	14
≤ 5	48	60	72	84	96	120	144	168
6	43	54	65	76	86	108	130	151
7	38	48	58	68	77	96	115	134
8	34	42	50	59	67	84	101	118
9	29	36	43	52	58	72	86	101
10	24	30	36	42	48	60	72	84
11	22	28	34	40	45	56	67	78
12	21	26	31	37	42	52	62	73
13	19	24	29	34	38	48	58	67
14	18	22	26	31	35	44	53	62
15	16	20	24	28	32	40	48	56
16	15	19	23	27	30	38	46	53
17	14	18	22	26	29	36	43	50
18	14	17	20	24	27	34	41	48
19	13	16	19	23	26	32	38	45
≥ 20	12	15	18	21	24	30	36	42

(Adaptado de Acra, Aloysio Miguel. Captação e aproveitamento de águas pluviais das estradas. 1988)

Cálculo da área de contribuição para a bacia de captação de águas pluviais:

$$A = L \times D$$

Onde : A = área da bacia (m²)
L = largura da estrada (m)
D = distância entre bacias (m)

Cálculo do volume da bacia de captação de águas pluviais:

$$V = A \times 0,10 \text{ m}$$

Onde: V = volume da bacia (m³)
A = área da bacia (m²)
0,10 m = 100 mm de precipitação

Cálculo do raio da bacia de captação de águas pluviais:

$$r = \sqrt{\frac{V}{1,57}}$$

Onde: r = raio da bacia (m)
V = volume da bacia (m³)

Cálculo do raio da bacia de captação de águas pluviais. Em forma de círculo, com profundidade útil de 1,00m:

$$r = \sqrt{\frac{V}{3,14}}$$

Onde: r = raio da bacia (m)
 V = volume da bacia (m³)

Cálculo das dimensões da caixa de captação de águas pluviais. Em forma de retângulo, com profundidade útil de 1,00m:

- 1) Definir a largura da caixa.
- 2) Dividir o volume a armazenar pela largura definida, encontrando o comprimento da caixa.

$$C = \frac{V}{\ell}$$

Onde: C = comprimento da caixa (m)
 V = volume da caixa (m³)
 ℓ = largura definida (m)

Cálculo das dimensões da caixa de captação de águas pluviais. Em forma de quadrado, com profundidade útil de 1,00m:

$$l = \sqrt{V}$$

Onde: V = volume da caixa (m³)
 l = lado da caixa (m)

Elaborado por:

Leonel Sátiro de Lima
 Coordenador Técnico Regional de Meio Ambiente
 EMATER-MG / Unidade VERdeMINAS Poços de Caldas
 leonel@emater.mg.gov.br
 (35) 3714-7280