

ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE TRECHO DA BR-060 E SUA RELAÇÃO COM ACIDENTES DE TRÂNSITO

AMANDA GROTTO CARVALHO

Rio Verde, GO

2022

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE**

BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE TRECHO DA
BR-060 E SUA RELAÇÃO COM ACIDENTES DE TRÂNSITO**

AMANDA GROTTO CARVALHO

Trabalho de curso apresentado, como parte das exigências para obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde.

Orientador: Doutor Philippe Barbosa Silva

Rio Verde, GO
Julho – 2022

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

CC331a Carvalho, Amanda
ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE TRECHO
DA BR-060 E SUA RELAÇÃO COM ACIDENTES DE TRÂNSITO /
Amanda Carvalho; orientador Philippe Barbosa Silva.
-- Rio Verde, 2022.
42 p.

TCC (Graduação em Engenharia Civil) -- Instituto
Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2022.

1. acidentes de trânsito. 2. características
geométricas. 3. inconformidades. I. Barbosa Silva,
Philippe , orient. II. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Amanda Grotto Carvalho

Matrícula:

2017102200840470

Título do trabalho:

ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE TRECHO DA BR-060 E SUA RELAÇÃO COM ACIDENTES DE TRÂNSITO

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Trabalho submetido na Revista Transportes

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 17 /09 /2023

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, Goiás

17 /09 /2022

Local

Data

Amanda Grotto Carvalho

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Philippe Barbosa Silva

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 11/2022 - CCBEC-RV/GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos oito dias do mês de agosto de dois mil e vinte e dois, às dezesseis horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof. Dr. Philippe Barbosa Silva (orientador), Prof. Me. Heitor Cardoso Bernardes (membro interno) e Profa. Dra. Michelle Andrade (membro externo), para examinar o Trabalho de Curso (TC) intitulado “**ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE TRECHO DA BR-060 E SUA RELAÇÃO COM ACIDENTES DE TRÂNSITO**” da estudante **Amanda Grotto Carvalho** (Matrícula nº 2017102200840470) do Curso de Engenharia Civil do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida à estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição da candidata pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora, em que o orientador também assina em nome do membro externo.

Rio Verde, 05 de agosto de 2022.

(Assinado Eletronicamente)

Philippe Barbosa Silva

Orientador

(Assinado Eletronicamente)

Heitor Cardoso Bernardes

Membro Interno

(Assinado Eletronicamente)

Michelle Andrade

Membro Externo

Documento assinado eletronicamente por:

- **Heitor Cardoso Bernardes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 15/09/2022 15:49:10.
- **Philippe Barbosa Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 15/09/2022 15:44:36.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 15/09/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 426051

Código de Autenticação: 1a0eabde4b



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

AMANDA GROTTO CARVALHO

**ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE TRECHO DA
BR-060 E SUA RELAÇÃO COM ACIDENTES DE TRÂNSITO**

Trabalho de Curso DEFENDIDO e APROVADO em 05 de agosto de 2022, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

Prof. Dr. Heitor Cardoso Bernardes
Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde

Prof. Dr. Michelle Andrade
Universidade de Brasília

Prof. Dr. Philippe Barbosa Silva
Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde

Rio Verde, GO

Julho, 2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família pelo apoio prestado durante todo o curso. Minha mãe, Maria Vanuza Grotto Carvalho, e meu pai, Nilton César Carvalho, que me incentivaram e me deram forças para sempre continuar minha jornada, e as minha irmãs Natalia Grotto Carvalho e Natacha Grotto Carvalho que foram minha base em momentos de dificuldades.

Um agradecimento especial também aos meus amigos Eduardo Santos, Gisele da Silva Vilalba, Henrique Carvalho Ferreira, Lara Louise Silva e Vanessa Mesquita, que tornaram dias intensos de estudos, em momentos de compartilhamentos e apoio.

Agradeço ao meu orientador Prof. Doutor Philippe Barbosa da Silva por todos os momentos dedicados a elaboração de um trabalho de conclusão de curso de qualidade e ao incentivo para conclusão do curso e direcionamento para os próximos passos nessa carreira que se iniciará.

Por fim, agradeço à Deus por ter me permitido vivenciar diferentes experiências durante a graduação, desenvolver habilidades, fazer novas amizades, e principalmente, por me guiar em todas as minhas escolhas.

BIOGRAFIA DO ALUNO

Natural de Rio Verde - GO, 22 anos e filha de Maria Vanuza Grotto Carvalho e Nilton César Carvalho. Graduando em Engenharia Civil pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, instituição na qual desenvolvi monitoria de ensino na disciplina de Geometria analítica e álgebra linear no ano de 2018, projetos de ensino nos anos de 2019 e 2020 e também a produção de iniciação científica no ano de 2020. Sempre dedicada aos estudos e buscando participar de cursos e eventos fornecidos durante toda a graduação para aprimoração dos conhecimentos. Por fim, através deste trabalho, busca-se a conclusão do bacharel em engenharia civil.

ÍNDICE GERAL

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES	8
RESUMO	9
ABSTRACT	10
1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16
CAPÍTULO ÚNICO	17
1 INTRODUÇÃO	19
2 PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS E A SEGURANÇA VIÁRIA	19
2.1) Alinhamento horizontal	20
2.1.1) Raio de curva horizontal	20
2.1.2) Sucessões entre curvas horizontais	21
2.1.3) Ângulo de Deflexão	21
2.1.4) Intertangente mínima e tangente intermediária	22
2.2 Alinhamento Vertical.....	24
2.2.1 Rampa.....	24
2.3 Seções transversais	25
2.3.1 Largura da faixa de rolamento	25
2.3.2 Largura da faixa de acostamento	26
2.3.3 Largura do canteiro central.....	26
3 METODOLOGIA	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
3 CONCLUSÃO GERAL	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Densidade da malha rodoviária pavimentada por país (km/mil km²).....13

CAPÍTULO ÚNICO - Análise de características geométricas de trecho da BR-060 e sua relação com acidentes de trânsito.

Figura 1: Pontos singulares do alinhamento vertical.....24

Figura 2: Fluxograma representativo da análise dos acidentes.....27

Figura 3: Fluxograma dos parâmetros a serem analisados da via.....28

Figura 4: Comparativo entre raios de curva e raio mínimo.....31

Figura 5: Ângulos de deflexão do projeto.....32

Figura 6: Intertangente mínima x Intertangente de projeto.....33

Figura 7: Comportamento das rampas nos segmento críticos.....34

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO ÚNICO - Análise de características geométricas de trecho da BR-060 e sua relação com acidentes de trânsito.

Tabela 1: Comprimento de transição em função da velocidade.....	23
Tabela 2: Análise dos acidentes e cálculo da UPS.....	30
Tabela 3: Raios das curvas para análise de sucessões.....	31
Tabela 4: Parâmetros da seção transversal.....	35
Tabela 5: Tabela resumo dos parâmetros analisados em cada segmento.....	36

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

CNT	Confederação Nacional do Transporte
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
DAER	Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
eR	Superelevação para o raio R
Fm	Fator multiplicador em função da largura de rotação
i	Declividade longitudinal
Lc mín	Comprimento mínimo da espiral de transição
Lf	Largura da faixa de trânsito
Lt	Comprimento de transição
PIB	Produto interno bruto
PCV	Ponto de curva vertical
PIV	Ponto de interseção vertical
PTV	Ponto de Tangente Vertical
PP	Ponto de partida
PRF	Polícia Rodoviária Federal
rmáx	Rampa de superelevação máxima admissível
Rmín	Raio Mínimo indicado pela classe de projeto
R	Raio de projeto
RRD	<i>Rural Road Design</i>
SAEPRO	Sistema de Aprovação Eletrônica de Projetos de Obras
T	Tangente
UPS	Unidade padrão de severidade
V	Velocidade diretriz

RESUMO

CARVALHO, AMANDA GROTTTO. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – GO, julho de 2022. **Análise de características geométricas de trecho da BR-060 e sua relação com acidentes de trânsito.** Orientador: Philippe Barbosa Silva.

Os acidentes de trânsito nas rodovias geram preocupações de âmbito global devido às consequências tanto econômicas quanto sociais. O trânsito no Brasil é o quarto mais violento do continente americano, e tem como causas falhas humanas, veiculares, institucionais/sociais, socioeconômicas, ambientais e viárias. No entanto, dentre as causas citadas, as falhas nas vias são de grande destaque, uma vez que é verificado por diversas pesquisas a influência das características geométricas na qualidade e segurança viária sendo então um problema que pode ser evitado. Dessa forma, a pesquisa tem como objetivo analisar as características geométricas de cinco segmentos críticos de um trecho da rodovia BR-060, entre as cidades de Rio Verde-GO e Jataí-GO, buscando verificar a existência de relação entre inconformidades geométricas na via e os acidentes ocorridos. Inicialmente fez-se uma revisão de literatura de modo a discorrer sobre os elementos geométricos das rodovias a serem abordados no trabalho e que têm relação com a segurança viária. Em seguida, realizou-se a coleta de dados, onde através do cálculo de unidade padrão de severidade (UPS) definiu-se os segmentos mais críticos do trecho da rodovia e então, iniciou-se a análise desses segmentos dentro dos parâmetros do alinhamento horizontal, vertical e seção transversal. Por fim, verificou-se se há relação entre os segmentos com maior UPS e inconformidades verificadas. Diante dos resultados apresentados, notou-se que os segmentos com maior incidência de acidentes de trânsito, são também aqueles com maior número de parâmetros geométricos com inconformidade em relação às normas brasileiras de projeto geométrico de rodovias.

Palavras-chaves: acidentes de trânsito, características geométricas, inconformidades

ABSTRACT

CARVALHO, AMANDA GROTTTO. Federal Institute of Education, Science and Technology of Goiás – Campus Rio Verde – GO. GO, July, 2022. **Analysis of geometric characteristics of the BR-060 stretch and its relationship with traffic accidents.**

Advisor: Philippe Barbosa Silva.

Traffic accidents on highways generate global concerns due to both economic and social consequences. Traffic in Brazil is the fourth most violent on the American continent, and its causes are human, vehicular, institutional/social, socioeconomic, environmental and road failures. However, among the cited causes, the failures in the roads are of great prominence, since it is verified by several studies the influence of the geometric characteristics in the quality and road safety, being then a problem that can be avoided. In this way, the research aims to analyze the geometric characteristics of five critical segments of a stretch of the BR-060 highway, between the cities of Rio Verde-GO and Jataí-GO, seeking to verify the existence of a relationship between geometric nonconformities in the road and the accidents that occurred. Initially, a literature review was carried out in order to discuss the geometric elements of the highways to be addressed in the work and that are related to road safety. Then, data collection was carried out, where through the calculation of the standard unit of severity (UPS) the most critical segments of the road section were defined and then, the analysis of these sections within the parameters of the horizontal alignment, vertical and cross section. Finally, it was verified if there is a relationship between the segments with the highest UPS and nonconformities verified. In view of the results presented, it was noted that the segments with the highest incidence of traffic accidents are also those with the highest number of geometric parameters with non-compliance with the Brazilian standards of geometric design of highways.

Keywords: traffic accidents, geometric features, nonconformities.

1 INTRODUÇÃO

Os acidentes de trânsito têm mostrado um crescimento demasiado ao redor de todo o mundo, sendo responsável pela morte de cerca de 1,2 milhões de pessoas por ano, e ferimentos a outras 50 milhões (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2007). Dentre as consequências geradas por este problema, tem-se fatores econômicos onde os países perdem em torno de 1 a 2% do PIB com gastos relacionados a acidentes, dentre estes, pode-se citar: perda de produção, custo médico hospitalar e de processos judiciais, custo de congestionamentos, custo previdenciário, do resgate de vítimas, de remoção de veículos, de atendimento policial e dos agentes de trânsito, entre outros (SILVA, et al., 2015).

Devido ao crescente número de acidentes de trânsito, tal assunto passou a se destacar como um problema de saúde pública. Segundo dados divulgados pela Confederação Nacional do transporte (CNT, 2018), foram registrados, somente pelas rodovias federais policiadas, no período de 2007 a 2017, cerca de 1.652.403 acidentes e 83.481 mortes, sendo os acidentes de trânsito uma das principais causas de óbitos no Brasil.

Conforme dados da CNT (2021), o Brasil possui uma extensão de malha rodoviária de cerca de 1.720.909 km, em que apenas 213.500 km são rodovias pavimentadas, 157.309 km rodovias planejadas e 1.350.100 km correspondem a rodovias não pavimentadas. Por meio da Figura 1, é possível notar que mesmo o Brasil dependendo excessivamente do modal rodoviário, sendo este responsável por 65% do transporte de mercadorias e 95% de passageiros, há poucos trechos pavimentados em relação à sua área territorial, e também se comparado a outros países com extensão territorial similar e com uma multimodalidade implantada.

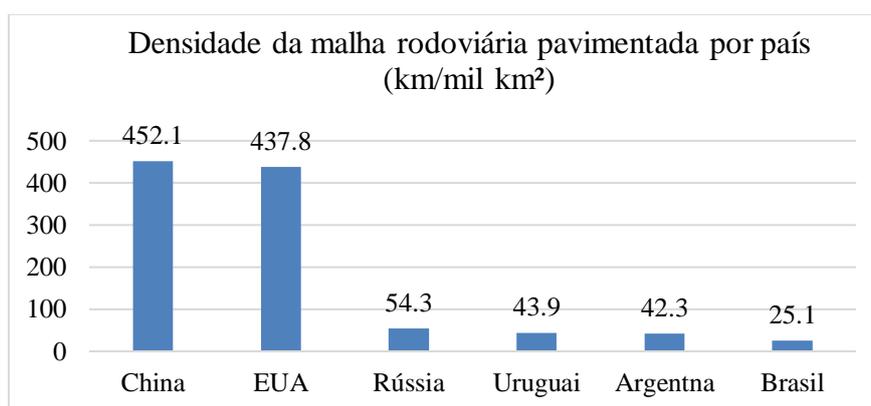


Figura 1: Densidade da malha rodoviária pavimentada por país (km/mil km²)

Fonte: CNT,2021.

Alguns autores trazem como fatores que influenciam na ocorrência de acidentes de trânsito as características e geometria da via, o meio ambiente, condições do tempo e

iluminação, fatores humanos e condições do veículo. (Gold, 2002; Miaou e Lum, 1993; Nogueira, 1995; Santos, 1998). No entanto levando em consideração apenas as características da rodovia, os elementos que contribuem de forma significativa para a ocorrência dos acidentes estão associados as variáveis do traçado em planta, em perfil ou da seção transversal (PÉREZ, 2002).

De acordo com um estudo desenvolvido por Santos (1998) 57% dos acidentes correspondem a falhas unicamente humanas e os outros 43% estão relacionados a acidentes com causas humanas combinados com causas provenientes da via ou veículo.

Visto o crescente número de acidentes de trânsito e a influência das características geométricas na qualidade e segurança viária, este trabalho tem como objetivo analisar as características geométricas de cinco segmentos críticos de uma rodovia, buscando caracterizá-los e verificar se existe relação entre inconformidades geométricas na via e os acidentes ocorridos.

2 OBJETIVOS

Geral

Este trabalho tem como objetivo principal analisar as características geométricas de segmentos críticos de uma rodovia, buscando verificar se existe relação entre inconformidades geométricas na via e a ocorrência de acidentes.

Específicos

I. Analisar a severidade dos acidentes ocorridos no período de 2017 a 2021 no trecho da rodovia BR-060 estudado.

II. Caracterizar os parâmetros geométricos do alinhamento horizontal, vertical e seção transversal dos segmentos críticos do trecho da rodovia BR-060.

III. Associar inconformidades geométricas na via e os acidentes ocorridos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Análise de Situação em Saúde. **Uma análise da situação de saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, 2007.

CNT. **Pesquisa CNT de rodovias 2018: relatório gerencial**. Brasília: CNT: SEST SENAT, 2018. Disponível em: < www.cnt.gov.br>. Acesso em: 02 de março de 2022.

CNT. **Pesquisa CNT de rodovias 2021**. Brasília: CNT: SEST SENAT, 2021. Disponível em: < www.cnt.gov.br>. Acesso em: 02 de março de 2022.

GOLD, Philip Anthony. **Segurança rodoviária**. In: Simpósio sobre obras rodoviárias, 2., 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABGE, 2002. p.7-11.

Miaou, S. e Lum, H. (1993) **Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships**. Accident Analysis and Prevention. v.25, n.6, p.689-709.

Nogueira, A. A. R. (1995). **Análise da relação da geometria de rodovias e acidentes envolvendo veículos de carga**. São Carlos. 101f. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos.

Pérez Pérez, I. (2002). **Experiencia norteamericana en modelos que relacionan el número de accidentes y las variables del proyecto geométrico de las carreteras convencionales**. Rutas Revista de la Asociación Técnica de Carreteras, n.88, p.13-25.

Santos, B. J. R. (1998). **A consistência da geometria de rodovias: principais metodologias e contribuição ao método do módulo de segurança**. São Carlos. 252p. Tese (Doutor em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SILVA, G; MENEZES, L; NEDER, H. **Qualidade da malha rodoviária, custos econômicos associados e determinantes dos acidentes de trânsito no Brasil: avaliação e proposição política**. Revista de Políticas Públicas, vol. 19, núm. 1, 2015, pp. 327-347. Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Brasil.

CAPÍTULO ÚNICO

(Normas de acordo com a revista Transportes)

Análise de características geométricas de trecho da BR-060 e sua relação com acidentes de trânsito.

Analysis of geometric characteristics of the BR-060 stretch and its relationship with traffic accidents.

RESUMO

Os acidentes de trânsito nas rodovias geram preocupações de âmbito global devido as consequências tanto econômicas quanto sociais. O trânsito no Brasil é o quarto mais violento do continente americano, e tem como causas falhas humanas, veiculares, institucionais/sociais, socioeconômicas, ambientais e viárias. No entanto, dentre as causas citadas, as falhas nas vias são de grande destaque, uma vez que é verificado por diversas pesquisas a influência das características geométricas na qualidade e segurança viária sendo então um problema que pode ser evitado. Dessa forma, a pesquisa tem como objetivo analisar as características geométricas de cinco segmentos críticos de um trecho da rodovia BR-060, entre as cidades de Rio Verde/GO e Jataí/GO, buscando verificar a existência de relação entre inconformidades geométricas na via e os acidentes ocorridos. Inicialmente fez-se uma revisão de literatura de modo a discorrer sobre os elementos geométricos das rodovias a serem abordados no trabalho e que têm relação com a segurança viária. Em seguida, realizou-se a coleta de dados, onde através do cálculo de unidade padrão de severidade (UPS) definiu-se os segmentos mais críticos do trecho da rodovia e então, iniciou-se a análise desses segmentos dentro dos parâmetros do alinhamento horizontal, vertical e seção transversal. Por fim, verificou-se se há relação entre os segmentos com maior UPS e inconformidades verificadas. Diante dos resultados apresentados, notou-se que os segmentos com maior incidência de acidentes de trânsito, são também aqueles com maior número de parâmetros geométricos com inconformidade em relação às normas brasileiras de projeto geométrico de rodovias.

Palavras-chaves: acidentes de trânsito, características geométricas, inconformidades.

ABSTRACT

Traffic accidents on highways generate global concerns due to both economic and social consequences. Traffic in Brazil is the fourth most violent on the American continent, and its causes are human, vehicular, institutional/social, socioeconomic, environmental and road failures. However, among the cited causes, the failures in the roads are of great prominence, since it is verified by several studies the influence of the geometric characteristics in the quality and road safety, being then a problem that can be avoided. In this way, the research aims to analyze the geometric characteristics of five critical segments of a stretch of the BR-060 highway, between the cities of Rio Verde/GO and Jataí/GO, seeking to verify the existence of a relationship between geometric nonconformities in the road and the accidents that occurred. Initially, a literature review was carried out in order to discuss the geometric elements of the highways to be addressed in the work and that are related to road safety. Then, data collection was carried out, where through the calculation of the standard unit of severity (UPS) the most critical segments of the road section were defined and then, the analysis of these sections within the parameters of the horizontal alignment, vertical and cross section. Finally, it was verified if there is a relationship between the segments with the highest UPS and nonconformities verified. In view of the results presented, it was noted that the segments with the highest incidence of traffic accidents are also those with the highest number of geometric parameters with non-compliance with the Brazilian standards of geometric design of highways.

Keywords: traffic accidents, geometric features, nonconformities.

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescente número de acidentes de trânsito em todo o mundo, tal assunto passou a se destacar como um problema de saúde pública. Segundo dados divulgados pela Confederação Nacional do transporte (CNT, 2018), foram registrados, somente pelas rodovias federais policiadas, no período de 2007 a 2017, cerca de 1.652.403 acidentes e 83.481 mortes, sendo os acidentes de trânsito uma das principais causas de óbitos no Brasil.

Com a implantação em 1998 do código de Trânsito Brasileiro (CTB), em substituição do Código Nacional de Trânsito, esperava-se uma redução considerável no número de acidentes, uma vez que houve melhorias nas fiscalizações eletrônicas, nas sinalizações e implantação de leis mais rígidas. No entanto, os registros de acidentes não diminuíram e o Brasil ainda apresenta taxas de mortalidade maiores do que outros países como Japão, Suécia e Canadá (BACCHIERI; BARROS; 2011).

De acordo com dados divulgados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), o trânsito no Brasil é o quarto mais violento do continente americano. Dentre os estados brasileiros em que ocorrem os maiores números de acidentes estão: Minas Gerais, Paraná, Bahia e Goiás.

Dentre as causas de acidentes terrestres estão falhas humanas, veiculares, institucionais/sociais, socioeconômicas, ambientais e viárias. No entanto, as inconformidades nas vias têm grande destaque uma vez que, aproximadamente 58,2% das rodovias brasileiras ainda não oferecem as condições adequadas aos usuários (CNT, 2018).

As faltas de condições adequadas estão relacionadas à insuficiência de manutenção da sinalização, desconformidade entre a capacidade da rodovia e o número de veículos que trafegam na pista, geometria e manutenção da via e a qualidade da pavimentação (RENAEST, 2011).

Verificado o constante aumento de acidentes de trânsito, e também a interferência da geometria da via na qualidade e segurança das rodovias brasileiras, este trabalho tem como objetivo analisar as características geométricas de cinco segmentos críticos de uma rodovia, buscando caracterizá-los e verificar se existe relação entre inconformidades geométricas na via e os acidentes ocorridos.

2 PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS E A SEGURANÇA VIÁRIA

O crescente número de acidentes de trânsito desperta a atenção para a necessidade de desenvolvimento de uma rodovia bem projetada e planejada, e para isso é necessário a preocupação do profissional para desenvolvimento de um projeto que preze não somente o conforto do motorista ao trafegar na pista, mas também a segurança (SOUZA, 2012).

Diante disso, o estudo das características e a classificação técnica das rodovias se faz necessário, uma vez que estas são responsáveis por conceder conforto e segurança aos usuários da via (FREIRE, 2003). No Brasil, essa classificação é feita baseada em dois parâmetros: volume de tráfego a ser atendido pela rodovia e relevo da região. O volume de tráfego, refere-se ao número de veículos que passa pela rodovia durante um dado intervalo de tempo. Já o relevo da região é classificado de acordo com a influência que o relevo exerce na conformação das características do traçado da rodovia, podendo ser plano, ondulado ou montanhoso (DNER, 1999). Assim, a partir do volume de tráfego é possível definir a classe do projeto, podendo ser de sete tipos, e a partir do tipo de relevo da região define-se a velocidade de projeto.

Definida a classificação técnica da rodovia, segue-se para o desenvolvimento do projeto. Uma rodovia pode ter seus elementos geométricos decompostos por meio da representação em projeções nos planos horizontal e vertical e seções transversais. Cada uma dessas representações possui componentes básicos que devem ser analisados, a fim de caracterizar uma rodovia (DNER, 1999).

2.1) Alinhamento horizontal

Este alinhamento está relacionado ao projeto em planta, cujo objetivo é definir a geometria da linha no plano horizontal (eixo da rodovia). Dentro deste alinhamento, tendo como foco a segurança viária, serão analisados raios de curvas horizontais, sucessões entre curvas, ângulo de deflexão e intertangente mínima e tangente intermediária.

2.1.1) Raio de curva horizontal

Refere-se ao raio de um arco empregado na concordância, variando de acordo com a topografia da região e as características técnicas desejáveis para a via. Essa concordância pode ser feita por meio de curvas circulares simples ou curvas de transição (DNER, 1999).

A concordância através de curvas circulares simples, conferem ao traçado fluência e continuidade do eixo, no entanto, para minimizar o choque dinâmico causado ao usuário da via, ao sair de um trecho em tangente e entrar em uma curva circular, muitas vezes é necessário o uso da concordância com curva de transição. Dessa forma, ao longo de uma rodovia empregam-se ambos tipos de concordância, definido de acordo com a necessidade local. Além disso, visto a necessidade de emprego de curva de transição, o DNER (1999) define recomendações quanto ao raio mínimo a ser empregado, de acordo com a classe e relevo de projeto.

Segundo Radimsky *et al.* (2016), os acidentes com maior grau de severidade ocorrem em curvas, principalmente se associada a elevadas declividades. Anastasopoulos *et al.* (2012),

em um trabalho desenvolvido com a utilização do modelo de regressão Tobit, obteve como resultado o aumento no número de feridos relacionados ao aumento do raio.

Outros estudos realizados, como o desenvolvido por Iyina *et al.* (1997) e também Ma e Li (2010), mostraram que o raio é uma variável de extrema importância quando relacionado a frequência de acidentes, sendo que em trechos com curvas com raios excessivamente grandes ou então muito pequenos, a frequência de acidentes nestes pontos se mostrou maiores.

Um estudo realizado por Hosseinpour *et al.* (2016), cujo foco era a análise de acidentes dos tipos saída de pista, capotamento e tombamento, mostrou que para a redução de acidentes desses tipos é recomendado aumentar os raios de curvas, uma vez que raios muito pequenos aumentam a frequência desses tipos de acidente. Ainda em uma pesquisa desenvolvida por Baldwin (1964) nas estradas dos Estados Unidos, com volume de tráfego inferior a 5000 veículos por dia notou-se que a taxa de acidentes diminui à medida que o raio da curva aumenta.

2.1.2) Sucessões entre curvas horizontais

Na concordância entre os trechos em tangente de uma rodovia, é necessário evitar variações abruptas entre os raios de curvatura, a fim de não propiciar sensações que possam causar estranhamento ao motorista durante o percurso, confundindo-o ou surpreendendo-o. Sendo assim, é recomendado pelo DNER (1999), seguir a orientação para raios de curvas sucessivas, onde ao analisar o ábaco apresentado no manual, o cruzamento entre o raio da primeira curva e o da segunda curva, não deve apresentar variações demasiadas, a fim de garantir melhor qualidade da pista.

De acordo com o DAER (1991) em casos cuja sucessão das curvas não esteja dentro do aceitável, a fim de aliviar os acidentes de trânsito é necessário que haja uma boa sinalização de advertência. Segundo Glennon *et al.* (1985), a taxa de acidentes em curvas é de 1,5 a 4 vezes maior que a taxa de acidentes nas tangentes similares.

Ainda, em um estudo realizado em rodovias rurais americanas, estimou-se que mais de 50% dos acidentes ocorrem em seções curvas, que representam as regiões mais críticas das rodovias rurais, quando se analisa a segurança (LAMM, 1999).

Além disso, conforme Madalozo (2003), os aumentos nas taxas de acidente também são verificados em curvas de pequeno raio situadas em segmentos com curvas de raio maior.

2.1.3) Ângulo de Deflexão

O ângulo de deflexão de uma curva trata-se do no sentido horário entre as duas tangentes externas e é, numericamente igual ao ângulo central. Segundo recomendações do DNER (1999)

o ângulo de deflexão do traçado deve estar entre 10 e 35 graus, e para ângulos inferiores a 5 graus é dispensável o uso de curvas horizontais, no entanto, deve-se evitar ao máximo valores tão pequenos, prezando a segurança do usuário da via.

No que se refere ao ângulo de deflexão, inúmeros estudos realizados mostraram haver relação deste parâmetro com a frequência de acidentes. De acordo com o trabalho desenvolvido por Fink *et al.* (1995), que tem como base a utilização de um modelo de regressão linear em rodovias de pistas simples, notou-se que o ângulo de deflexão é o parâmetro de maior interferência na frequência de acidentes.

Do mesmo modo, Dong *et al.* (2015) e Rengarasu, *et al.* (2009), utilizando modelos de regressão binomiais negativos em rodovias de pista simples, também verificaram o ângulo de deflexão como sendo um parâmetro bastante significativo na frequência de acidentes. Nestes estudos, verificou-se que o aumento do ângulo de deflexão era acompanhado de um aumento na frequência de acidentes.

Choueri *et al.* (1994) concluíram que a ocorrência de acidentes nas rodovias é uma função do grau de curvatura, em que o risco de acidentes em trechos com mudança na curva entre 10 e 15 graus foi cerca de quatro vezes maior do que em seções com mudança na curva entre 1 e 5 graus. Além disso, em um estudo realizado por Pérez (2002) concluiu-se que a variável geométrica mais significativa do ponto de vista da segurança viária é o grau da curva.

2.1.4) Intertangente mínima e tangente intermediária

Uma curva de transição, é formada por um trecho circular e por um trecho em espiral, e é interligada a outra curva, por meio de um elemento denominado intertangente. O cálculo da intertangente em um projeto de rodovia é de suma importância, pois quanto maior o seu comprimento, melhor o desenvolvimento do motorista ao passar de uma curva para a outra, trazendo mais suavidade e conforto (LEE, 2005).

Ademais, de acordo com Garcia (2002), o parâmetro intertangente mínima em um projeto deve ser verificado, uma vez que uma intertangente insuficiente resulta na impossibilidade de distribuir a transição da superelevação para as curvas adjacentes. A má distribuição da superelevação causa desconforto aos usuários, já que atua no equilíbrio da força centrífuga, força essa responsável em manter os corpos presos à trajetória.

Segundo Lamm e Smith (1994) parte dos acidentes de trânsito poderiam ser evitados se a geometria da via tivesse mais consistência, com escolhas de tangentes maiores, que promovessem traçados mais fluidos.

Ainda de acordo com um estudo realizado por Garber e Hoel (2014) para que uma estrada apresente eficiência e segurança é importante que haja uma transição gradual entre duas curvas horizontais, fazendo assim o uso de tangentes intermediárias a fim de evitar variações abruptas.

No entanto, para definição da intertangente, é necessário primeiramente o cálculo do comprimento de transição (L_t). Para obtenção de seu valor, primeiramente é necessário calcular o valor do comprimento mínimo da espiral de transição (LC_{\min}) através da verificação de quatro critérios: o critério do comprimento mínimo absoluto, da fluência ótica, do conforto e da máxima rampa de superelevação. A verificação destes critérios é dada por meio das equações apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Comprimento de transição em função da velocidade

Comprimento mínimo absoluto	Fluência ótica (se $R > 800m$)	Conforto	Máxima rampa de superelevação	LC_{\min} -DNER (1999)
$LC_{\min 1} = 0,56.V$	$LC_{\min 2} = R/9$	$LC_{\min 3} = 1,5 - 0,009.V$	$LC_{\min 4} = Fm.Lf. (er/rmáx)$	$LC_{\min 5} = 60 m$

$$LC_{\min} (\text{máx}) = (LC_{\min 1}, LC_{\min 2}, LC_{\min 3}, LC_{\min 4}, LC_{\min 5})$$

O valor do comprimento de transição é calculado pela expressão:

$$L_t = \frac{LC_{\min} \cdot i}{er}$$

Intertangente mínima = soma dos L_t a cada par de curvas sucessivas

V = velocidade diretriz (Km/h)
 R = raio da curva (m)
 Fm : fator multiplicador em função da largura de rotação da pista
 Lf : largura da faixa de trânsito (m)
 er : superelevação (m/m)
 $rmáx$: rampa de superelevação máxima admissível
 $Rmín$: raio mínimo indicado para a classe de projeto (m)
 R : raio de projeto (m)
 L_t : comprimento de transição (m)
 i : inclinação

Fonte: Adaptado de DNER (1999).

Além disso, o DNER (1999) traz uma recomendação para casos em que entre duas curvas sucessivas de mesmo sentido há um pequeno trecho em tangente. Preferencialmente estas curvas devem ser substituídas por uma única curva longa ou por uma curva composta, no entanto, quando não for possível, recomenda-se que a extensão da tangente intermediária deve ser superior ao percurso de aproximadamente 15 segundos percorrido a velocidade diretriz V em km/h, isto é, valor correspondente a Equação 1.

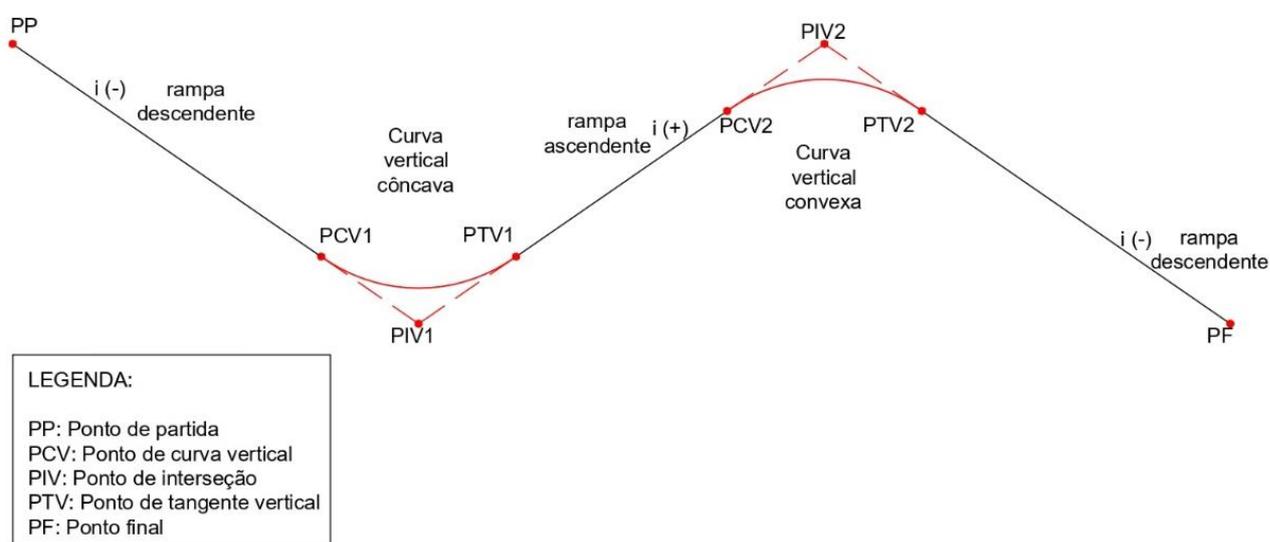
$$\text{Equação 1: } T > 4 \times V$$

2.2 Alinhamento Vertical

O alinhamento vertical consiste no traçado em perfil longitudinal. A representação do eixo da rodovia no plano vertical é denominada de greide, o qual é composto também por trechos retos e curvos (LEE, 2005).

Os trechos retos podem resultar em rampas com declividade positiva, negativa ou nula. Já as curvas verticais podem ser côncavas ou convexas. Na Figura 1, nota-se os pontos singulares do projeto em perfil, que são numerados desde a primeira curva até a última. (LEE, 2005).

Figura 1. Pontos singulares do alinhamento vertical



Fonte: Adaptado LEE,2005.

E assim como o alinhamento horizontal, o greide traz alguns elementos importantes a serem abordados, com recomendações quanto ao seu projeto, definidas por DNER (1999). Neste estudo, dentre as características altimétricas de um projeto de rodovia, será abordado sobre as rampas, pois são elementos de suma importância tanto para uma drenagem adequada da rodovia, quanto para um desenvolvimento seguro e confortável durante o tráfego.

2.2.1 Rampa

As rampas são elementos resultantes da topografia de um terreno, que não possibilita a planicidade das estradas. O preferível é o emprego de rampas suaves, no entanto, nem sempre é possível devido ao custo elevado de construção em regiões com topografia desfavorável. Sendo assim, é feito o estabelecimento de rampas máximas de acordo com a classe de projeto, a fim de conciliar o valor de execução e o desempenho dos veículos em situações de rampa.

O valor de rampa em um projeto pode ser obtido por meio da relação da diferença de cota entre dois pontos de interseção e a distância horizontal entre estes mesmos pontos. São expressas, geralmente, em porcentagem com precisão de 0,001% (DNER, 1999).

É necessário atentar-se com os valores de declividade, pois em trechos em cortes ou seção mista seu valor deve ser no mínimo 1% e em situações de existência de rampas inferiores, o valor mínimo é limitado a 0,35% para evitar problemas com a drenagem. (DNER, 1999).

Nas rodovias brasileiras é comum a existência de aclives acentuados e longos e tal característica induz o motorista a possíveis ultrapassagens perigosas. De acordo com Choueiri *et al.* (1994), incrementos na declividade de até 6% provocam um leve aumento nas taxas de acidentes, porém acima de 6%, o aumento é bastante notável.

Um estudo desenvolvido por Bitzl (1957) mostrou que rampas com 6 a 8 por cento de inclinação produzem cerca de quatro vezes mais acidentes do que pistas com rampas com menos de 2 por cento. Ademais, em uma investigação realizada por Babkov (1975) nas estradas russas, notou-se que a taxa de acidentes aumenta à medida que a rampa das curvas aumenta.

Segundo Melo e Setti (2002) em rampas a velocidade de tráfego, principalmente de veículos de carga são menores o que instiga veículos menores realizarem ultrapassagens perigosas, dessa maneira, as rampas são elementos que influenciam diretamente na segurança viária, sendo muitas vezes necessária a implantação de uma faixa adicional para reduzir os riscos de acidente em locais com rampas muito acentuadas.

2.3 Seções transversais

Os elementos da seção transversal de uma via atuam sobre as características estéticas, operacionais e de segurança. Os principais elementos serão abordados a seguir DNER (1999).

2.3.1 Largura da faixa de rolamento

É dada pela soma da largura do veículo de projeto e largura de uma faixa de segurança. O DNER (1999), traz valores recomendados de acordo com a classe de projeto adotada e o tipo de relevo da região. Obras de arte, terão larguras especiais, sendo recomendado para aquelas de classe IV-A uma largura de 7,2 metros, e para aquelas de classe IV-B, 4,2 metros.

De acordo com Zeeger e Deacon (1987) a largura da faixa de rolamento tem grande influência sobre a segurança viária, uma vez que o aumento da largura da pista resulta em maior redução do índice de acidentes do que o aumento da largura dos acostamentos.

2.3.2 Largura da faixa de acostamento

O acostamento é um elemento de suma importância para o motorista, se fazendo sempre necessário, mesmo que seja pavimentado ou não, no entanto, é necessário conter uma largura de boa visibilidade ao motorista (DNER, 1999).

Assim como a largura da faixa de rolamento, o DNER (1999) traz valores definidos para a largura do acostamento externo de acordo com a classe de projeto e o tipo de relevo adotado. Além disso, traz os valores definidos para os acostamentos internos, os quais são dados de acordo com o número de faixas da pista de rolamento.

De acordo com Zegeer e Council (1995) a combinação de larguras de faixa para tráfego e acostamentos compreende a largura da plataforma da via e a largura da plataforma é uma das variáveis que mais define a segurança de rodovias com duas faixas de tráfego.

Lima *et al* (2008) afirma que dentre as causas de acidentes de trânsito os acostamentos assumem uma parcela significativa, podendo ser devido a falta da faixa de acostamento ou então a defeitos existentes, principalmente na divisão entre a faixa de rolamento e o acostamento.

Segundo Rodrigues e Silva (2014) os acostamentos exercem importantes funções tanto operacionais, como: capacidade e segurança viária, como desempenho dos pavimentos ao proteger a estrutura da pista principal, melhorando condições de drenagem e transferência de cargas.

Ainda de acordo com o estudo realizado por Rodrigues e Silva (2014) a supressão de acostamentos em uma rodovia pode reduzir a sua capacidade em 7% e aumentar o índice de acidentes previstos em até 28%.

2.3.3 Largura do canteiro central

A única limitação para a largura máxima do canteiro central, são os fatores econômicos. Ao que se refere a largura mínima do canteiro o valor indicado é de 3 metros (DNER, 1999).

Em um estudo realizado por Vogt e Bared (1997) em rodovias rurais de duas faixas e sem canteiro central, notou-se que as mesmas são rodovias cujas taxas de acidentes são mais altas se comparadas aquelas com implantação de um canteiro central. A duplicação de rodovias acompanhada da introdução de um canteiro central tende a eliminar acidentes de colisão frontal, que geralmente resultam em vítimas fatais (GOLD, 2002).

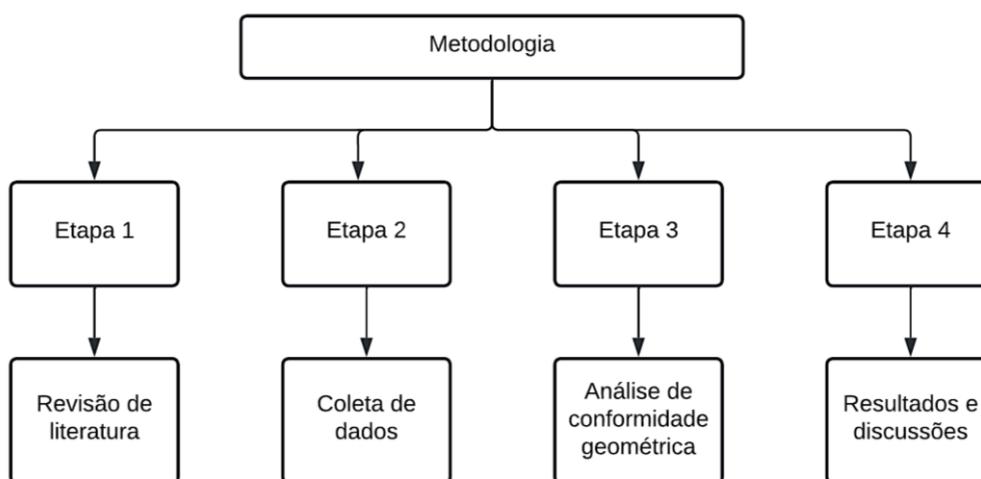
De acordo com Missato (2013) é necessário o emprego de um separador central entre faixas de rolamento, visando reduzir os custos sociais associados a acidentes de trânsito e que ao mesmo tempo tenha custos de manutenção e implantação baixos, sendo assim, indicado o uso de um canteiro verde.

Segundo o Manual Australiano *Rural Road Design* (RRD, 2003) o emprego do canteiro central reduz as taxas de acidentes pois reduzem o ofuscamento, provém espaço para abrigar veículos que desejam cruzar a rodovia em interseções não sinalizadas, disponibiliza espaço para paradas emergenciais e diminui a turbulência do ar entre o tráfego oposto.

3 METODOLOGIA

Para desenvolvimento do trabalho seguiu-se os procedimentos metodológicos descritos na Figura 2, a fim de cumprir com os objetivos propostos.

Figura 2. Fluxograma representativo da análise dos acidentes



Na etapa 1 realizou-se uma revisão de literatura visando identificar os elementos geométricos que contém relação com a segurança viária, além de destacar outros estudos que abordam a mesma temática, compondo mais avanços científicos na área de estudo.

Feito isso, prosseguiu-se para etapa 2, que se refere a coleta de dados, onde por meio de dados disponibilizados pela Polícia Rodoviária Federal (PRF), foi feita a análise dos acidentes de trânsito sucedidos em um trecho da rodovia BR-060, do quilômetro 395,5 a 465,12.

Primeiramente o trecho em estudo foi dividido de acordo com os projetos geométricos disponíveis da rodovia, sendo a cada 1,5 quilômetros. Em seguida, para cada segmento verificou-se os acidentes ocorridos no período de 2017 a 2021, levando em conta a separação em três categorias: acidentes sem vítimas, com vítimas e com óbitos.

Posteriormente, a fim de verificar dentro destes segmentos, aqueles considerados críticos, que por definição são os que apresentam maior frequência de acidentes se comparados a outros com características similares, o cálculo do padrão de severidade, que é dado pela

Equação 2, onde os acidentes sem vítimas têm peso unitário, os acidentes com vítimas não letais têm peso 5 e os acidentes fatais têm peso 13 (SADEGHI *et al.* 2013).

$$\text{Equação 2: } UPS = ASV \times 1 + ACV \times 5 + ACO \times 13$$

Em que:

UPS: Unidade padrão de severidade;

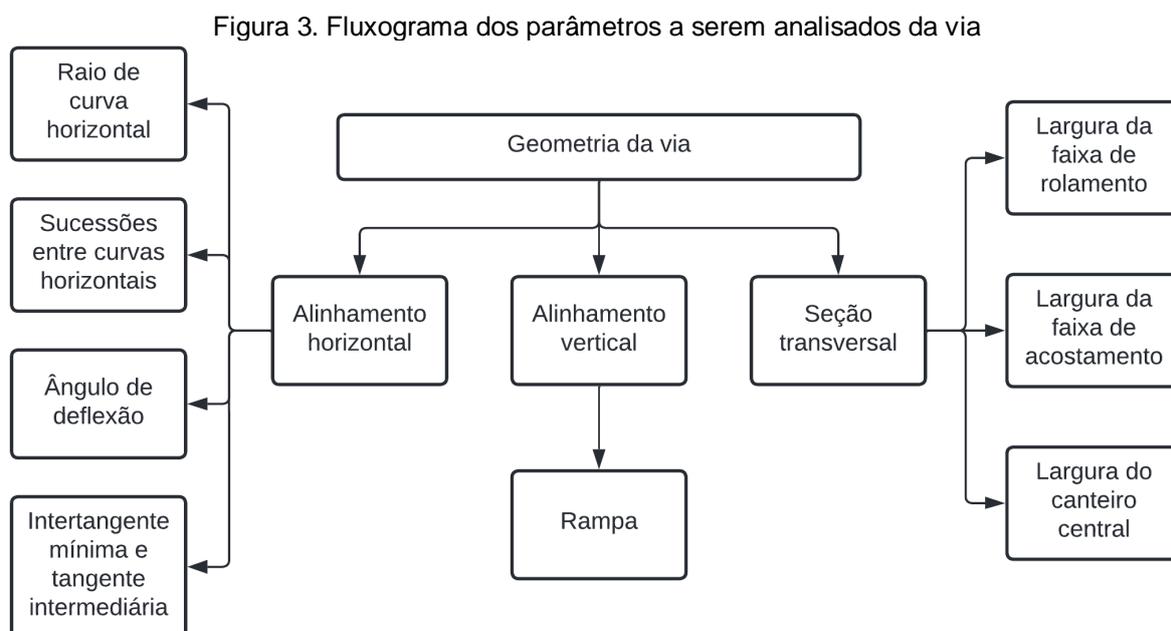
ASV: Número de acidentes sem vítimas;

ACV: Número de acidentes com vítimas;

ACO: Número de acidentes com óbitos.

O cálculo da unidade padrão de severidade (UPS), foi feito para cada ano, dentro de cada segmento e em seguida, fez-se a média aritmética, obtendo um UPS médio para cada segmento.

Em seguida, devido a indisponibilidade de dados como volume de tráfego, utilizou-se os valores obtidos no cálculo da UPS, como base de seleção dos cinco segmentos considerados mais críticos. Tendo definido os cinco segmentos mais críticos, iniciou-se a etapa 3 que consiste na análise de conformidade geométrica, onde foram analisados alguns parâmetros dentro do alinhamento horizontal, vertical e seção transversal, assim como exemplificado na Figura 3.



Para estudo das características do alinhamento horizontal foi feita uma reconstituição *as built* dos segmentos críticos selecionados, utilizando como ferramenta o *software* SAEPRO.

Este *software* disponibiliza inúmeras ferramentas que atuam na construção e análise de obras viárias, permitindo a concepção em múltiplas dimensões.

Dentre os parâmetros analisados do alinhamento horizontal, os dados sobre os raios, as sucessões entre curvas e o ângulo de deflexão foram possíveis de obter diretamente no *software* através da reconstituição da via, no entanto devido a existência de uma limitação na ferramenta de apoio, a intertangente mínima ainda não é fornecida, logo para obtenção deste dado fez-se necessário seu cálculo. Já para a obtenção de dados referentes aos parâmetros do alinhamento vertical e seção transversal, foi possível a coleta por meio dos projetos geométricos disponibilizados da via.

Por fim, com os dados coletados dos parâmetros do alinhamento horizontal, vertical e seção transversal, iniciou-se a etapa 4, que consiste nos resultados e discussões, onde verificou-se dentro dos segmentos críticos, se as características da via estão em conformidade com as normas estabelecidas pelo DNER (1999), visando identificar relação entre os acidentes recorrentes na via e as características geométricas desta.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio da análise dos acidentes de trânsito ocorridos nos quilômetros 395,5 a 465,12, da BR-060, no período de 2017 a 2021, obtiveram-se os resultados do cálculo do valor médio da unidade padrão de severidade para cada segmento, sendo possível identificar os cinco segmentos mais críticos, que são aqueles cuja incidência de acidentes é maior, se comparado a outros lugares com características similares. Dessa forma para os segmentos críticos foram atribuídos os nomes de segmento 1 à segmento 5, para facilitar a compreensão dos resultados, assim como pode ser verificado na Tabela 2.

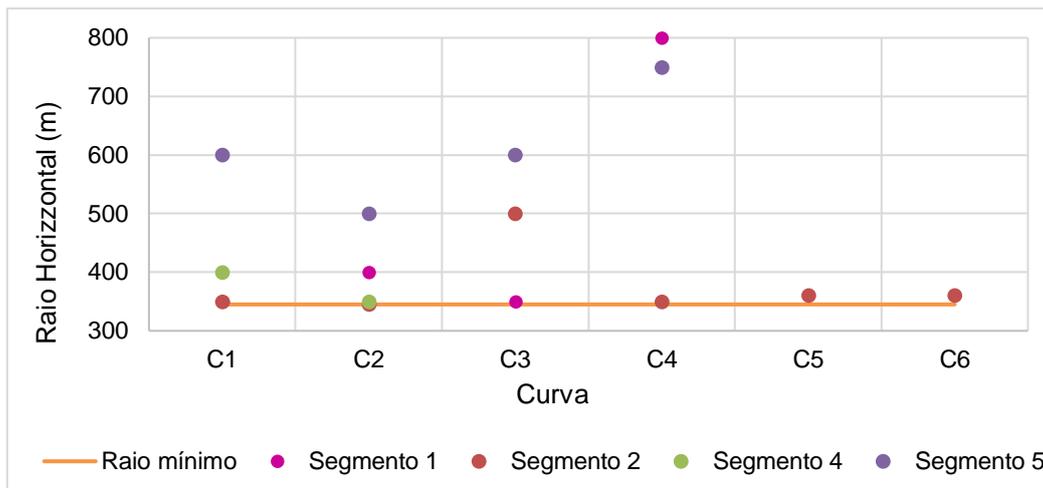
Tabela 2. Análise dos acidentes e cálculo da UPS

Segmentos (km)	Acidentes			UPS	Segmentos (km)	Acidentes			UPS
	SV	CV	CO			SV	CV	CO	
395,5-396,84	1	2	0	2,2	431,34-432,84	1	3	0	3,2
396,84-398,34	4	4	0	4,8	432,84-434,34	0	4	0	4
398,34-399,84	1	1	0	1,2	434,34-435,84	0	3	0	3
399,84-401,34 (Segmento 2)	4	4	3	12,6	435,84-437,34	4	0	0	0,8
401,34-402,84 (Segmento 5)	0	2	2	7,2	437,34-438,84	0	3	0	3
402,84-404,34	1	4	0	4,2	438,84-440,34 (Segmento 3)	4	8	1	11,4
404,34-405,84	2	3	1	6	440,34-441,84	0	2	0	2
405,84-407,34	1	2	0	2,2	441,84-443,34	0	3	0	3
407,34-408,84	1	1	0	1,2	443,34-444,84	1	3	0	3,2
408,84-410,34 (Segmento 4)	1	7	1	9,8	444,84-446,34	0	1	0	1
410,34-411,84	0	0	0	0	446,34-447,84	0	4	0	4
411,84-413,34	1	4	0	4,2	447,84-449,34	0	4	0	4
413,34-414,84	0	2	0	2	449,34-450,84	2	4	0	4,4
414,84-416,34	1	3	0	3,2	450,84-452,34	4	2	0	2,8
416,34-417,84	0	0	0	0	452,34-453,84	0	2	1	4,6
417,84-419,34	4	2	0	2,8	453,84-455,34	2	1	0	1,4
419,34-420,84	2	2	0	2,4	455,34-456,84	0	0	0	0
420,84-422,34	2	1	1	4	456,84-458,34	2	4	0	4,4
422,34-423,84	2	1	0	1,4	458,34-459,84	1	2	0	2,2
423,84-425,34	1	2	0	2,2	459,84-461,34 (Segmento 1)	5	12	0	13
425,34-426,84	4	2	0	2,8	461,34-462,84	2	3	0	3,4
426,84-428,34	8	4	0	5,6	462,84-464,34	2	3	0	3,4
428,34-429,84	1	1	0	1,2	464,34-465,12	2	6	0	6,4
429,84-431,34	0	5	0	5					

Em seguida, com a coleta dos dados do alinhamento horizontal, vertical e seção transversal referentes a estes segmentos críticos, foi possível verificar se estes estavam dentro das normas trazidas pelo DNER (1999), visto que o trecho em estudo pertence a classe I-A e relevo plano. Destaca-se que o segmento 3, se trata de um segmento cujo traçado em planta é tangente por toda sua extensão, não entrando nas análises dos parâmetros verificados do alinhamento horizontal.

O primeiro parâmetro a ser verificado foram os raios de curva horizontal, onde segundo o DNER (1999) ao se tratar de curvas horizontais concordadas com comprimento de transição, para a classe e relevo do trecho em estudo, o raio mínimo deve ser de 345 metros. Dessa forma, por meio do Figura 4, é possível verificar os valores dos raios horizontais dos segmentos analisados, e sua relação com o raio mínimo recomendado por norma.

Figura 4. Comparativo entre raios de curva e raio mínimo



De acordo com o gráfico acima, nota-se que todos os segmentos estão em conformidade com a norma, isto é, acima do raio mínimo recomendado. No entanto, é possível observar que os segmentos 1 e 2, cujo valor de UPS são os maiores, são também aqueles com valores de raio horizontal mais próximos ao mínimo, sendo que o segmento 2 tem 83,33% dos seus valores bem próximos ao raio mínimo. Enquanto isso, o segmento 5, cujo valor de UPS é menor do que os demais segmentos em análise, todos os raios se encontram com valores mais distantes do mínimo.

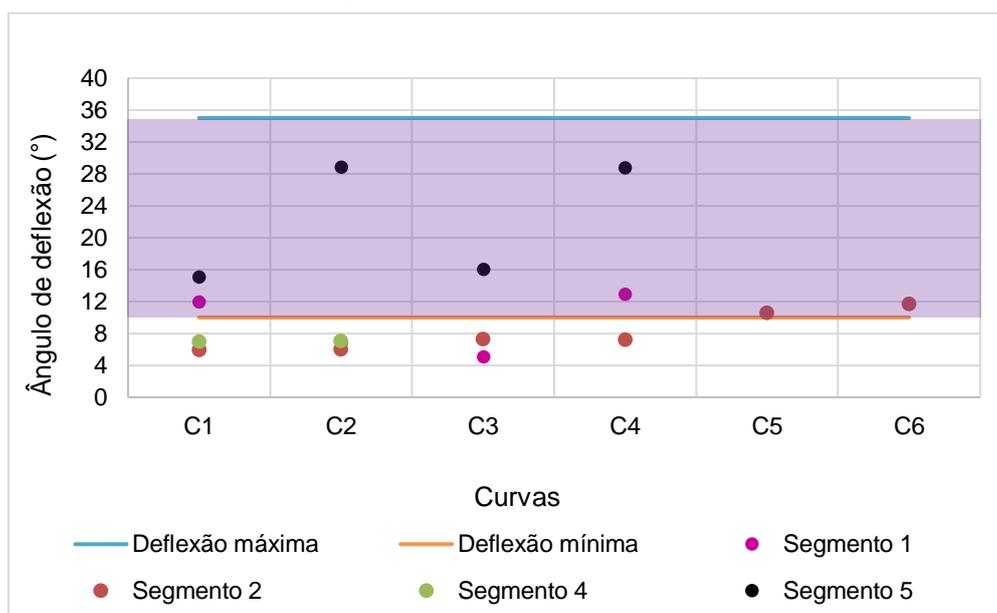
O segundo parâmetro está relacionado a sucessão de curvas. De acordo com os raios de curvas apresentados na Tabela 3, ao fazer o cruzamento do raio da primeira curva com o da segunda curva, verifica-se no ábaco trazido pelo DNER (1999), que todas as sucessões estão dentro das zonas 1 e 2, sendo estas consideradas desejável e boa, sucessivamente.

Tabela 3. Raios das curvas para análise de sucessões

Segmento	Pista	Sucessão de curvas	Zona de sucessão
Segmento 1	Decrescente	C1 (350 m) - C2 (400 m)	Zona 1
	Decrescente	C2 (400 m) - C3 (350 m)	Zona 1
	Crescente	C4 (800 m)	Sem sucessão
Segmento 2	Decrescente	C1 (350 m) - C2 (345 m)	Zona 1
	Decrescente	C2 (345 m) - C3 (500 m)	Zona 2
	Decrescente	C3 (500 m) - C4 (350 m)	Zona 2
	Decrescente	C4 (350 m) - C5 (360 m)	Zona 1
	Crescente	C6 (360 m)	Sem sucessão
Segmento 4	Decrescente	C1(400 m) - C2 (350 m)	Zona 1
Segmento 5	Decrescente	C1 (600 m) - C2 (500 m)	Zona 1
	Crescente	C3 (600 m) - C4 (750 m)	Zona 1

O ângulo de deflexão é outro parâmetro analisado, onde de acordo com o DNER (1999), os valores devem estar no intervalo entre 10 e 35 graus, no entanto de acordo com a Figura 5, nota-se que no segmento 1, 50% dos valores encontram-se abaixo do recomendado, no segmento 2, 66,67% dos valores, e no segmento 4, 100% dos valores estão fora do estabelecido pela norma. Já no segmento 5, verifica-se que todos os valores se encontram dentro do recomendado.

Figura 5. Ângulos de deflexão do projeto

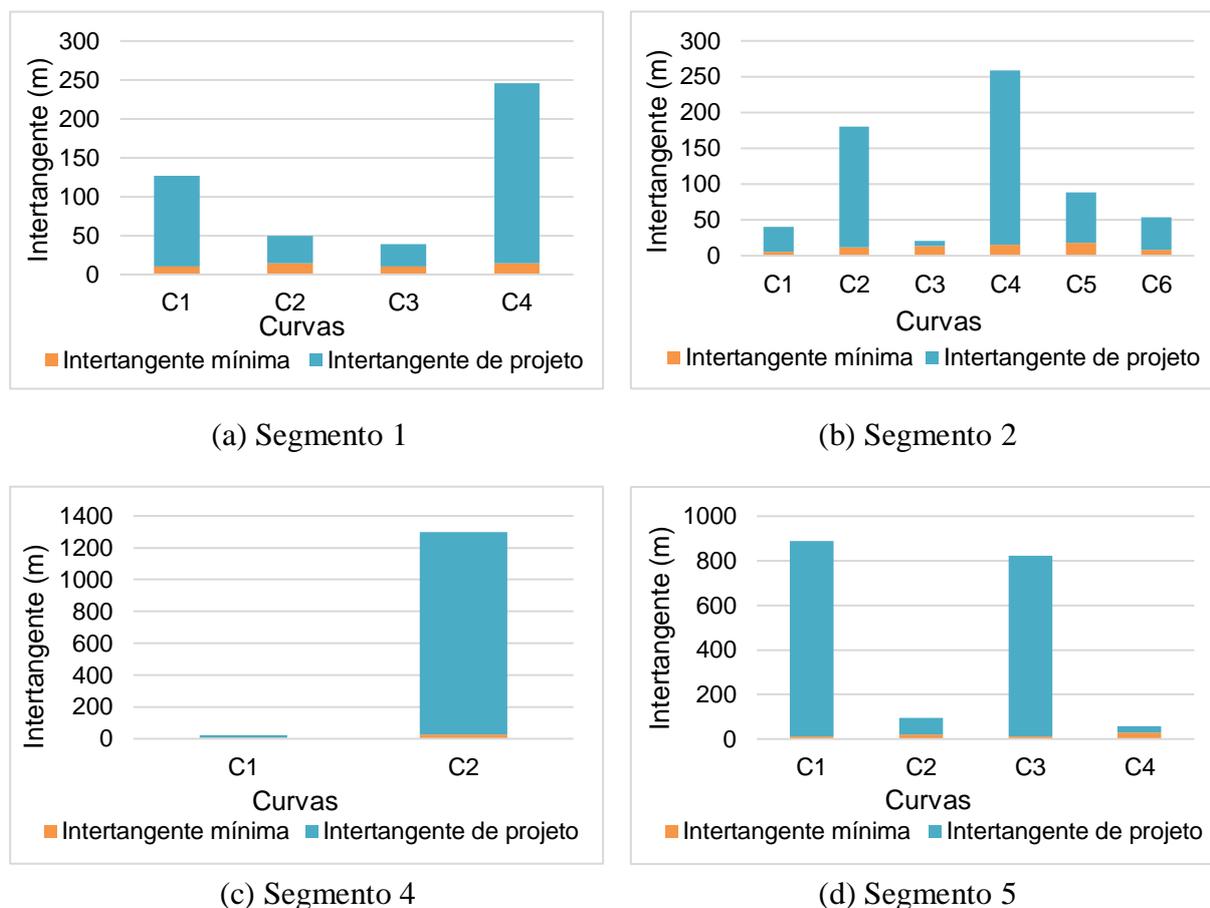


Dentre os problemas trazidos pela utilização de ângulos de deflexão muito baixos, está a dificuldade em o condutor identificar corretamente o raio da curva em que está trafegando, não sabendo qual o melhor ajuste para a realização da curva, aumentando os riscos de acidentes no local.

O último parâmetro analisado dentro do alinhamento horizontal, foram as intertangentes mínimas. Segundo o DNER (1999), as intertangente utilizadas no projeto geométrico da rodovia devem ter valores iguais ou superior aqueles obtidos no cálculo da intertangente mínima. Dessa forma, fez-se a análise da intertangente de cada segmento.

Na Figura 6, verifica-se que em todos os segmentos as curvas possuem valores de projeto superiores ou iguais ao valor mínimo, exceto a curva 3 do segmento 2, em que se percebe uma intertangente de projeto menor do que a mínima. A intertangente de projeto ser menor do que a mínima implica em um erro gravíssimo de projeto, onde duas curvas se chocam em um mesmo ponto, trazendo desconforto ao motorista ao trafegar por este ponto.

Figura 6. Intertangente mínima x Intertangente de projeto. (a) Segmento 1; (b) Segmento 2; (c) Segmento 4; (d) Segmento 5



Visto a recomendação do DNER (1999), quanto as tangentes mínimas em trechos com curvas sucessivas de mesmo sentido, verificou-se que para a classe e relevo de projeto do nosso trecho em estudo a velocidade diretriz é de 100 Km/h, sendo assim o comprimento da tangente deveria ser maior do que 400 metros, assim como mostra na equação 3.

$$\text{Equação 3: } T > 4 \times 100 = 400 \text{ m}$$

O comportamento de curvas sucessivas de mesmo sentido foi observado apenas no segmento 1, nas curvas 1 e 2, e no segmento 2, nas curvas 3 e 4, sendo que em ambos segmentos o valor de 400 metros não foi atingido, estando fora do recomendo para esta situação.

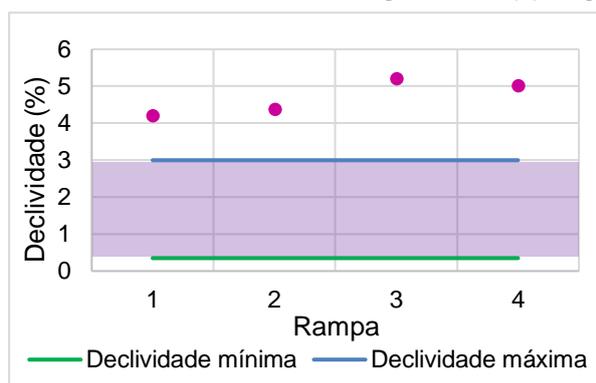
Dentro do alinhamento vertical analisaram-se as rampas. As rampas têm seus valores máximos definidos de acordo com a classe de projeto, em que para a classe do projeto da rodovia em análise (I-A), esse valor é de 3%. Além disso, para evitar problemas de drenagem,

tem-se o valor de 0,35% estabelecido como valor mínimo para as rampas. Diante disso, a análise foi feita de forma isolada para cada segmento.

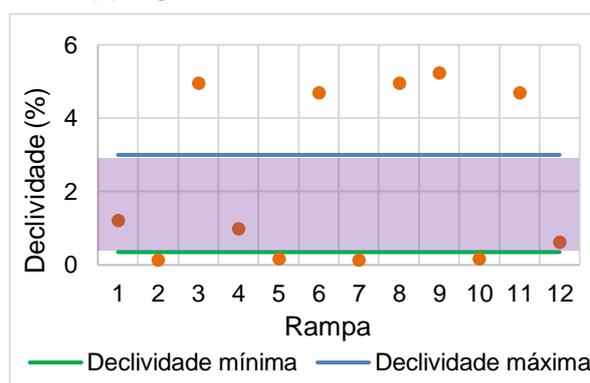
De acordo com a Figura 7, constata-se que todas as rampas que compõem o segmento 1 estão com valores fora do recomendado pela norma, estando todos os valores acima da declividade máxima permitida. Este comportamento é bastante preocupante, pois rampas com valores altos, atrapalham o tráfego de veículos, principalmente de carga, além de induzir veículos de passeio a ultrapassagens perigosas. Já no segmento 2, verifica-se que apenas 25% das rampas, encontram-se dentro do valor recomendado.

No segmento 3 também apenas 25% das rampas estão dentro do valor recomendado. E no segmento 4, a situação é ainda mais agravante, visto que cerca de 66,67% das rampas encontram-se fora dos valores recomendados pela norma. E por fim, no segmento 5 esse tem-se 58,33% dos valores acima do recomendado.

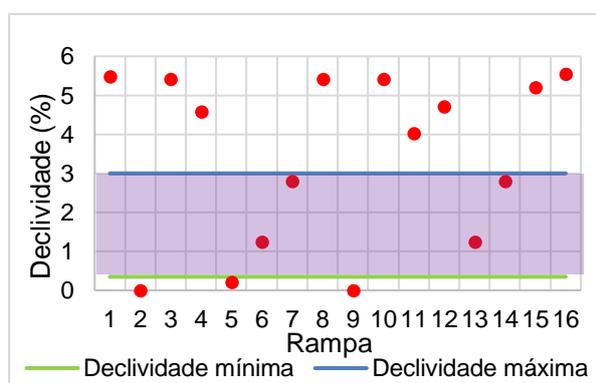
Figura 7. Comportamento das rampas nos segmentos críticos (a) Segmento 1; (b) Segmento 2; (c) Segmento 3; (d) Segmento 4; (e) Segmento 5



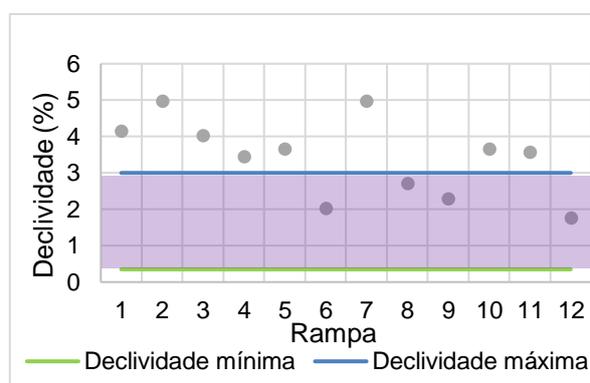
(a) Segmento 1



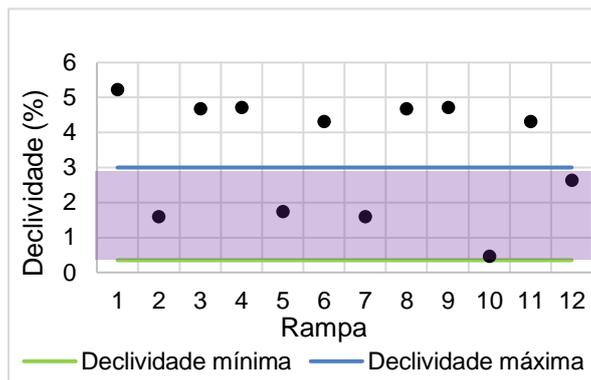
(b) Segmento 2



(c) Segmento 3



(d) Segmento 4



(e) Segmento 5

Um dos principais problemas ocasionados por exceder o valor da rampa máxima, se deve ao fato de veículos de carga trafegarem em tais rodovias, sendo estes veículos pesados e diante da dificuldade de passarem por rampas com valores superiores ao máximo, causam lentidão no trânsito.

Por fim, a análise dentro da seção transversal se deu na largura da faixa de rolamento, da faixa de acostamento e largura do canteiro central. A Tabela 4, representa os valores obtidos para os segmentos críticos em estudo.

Tabela 4: Parâmetros da seção transversal

Segmento	Pista	Largura da faixa de rolamento (m)	Largura da faixa de acostamento externo (m)	Largura do canteiro central (m)
Segmento 1	crescente	7,6	3,05	11,8-22,0
	decrésciente	6,8	3,1	
Segmento 2	crescente	7,5	2	12,0-22,0
	decrésciente	7,2	3	
Segmento 3	crescente	7,6	2,9	12,0-14,0
	decrésciente	7,5	3	
Segmento 4	crescente	7,3	2,8	11,6-24,0
	decrésciente	7,3	2,8	
Segmento 5	crescente	7,5	2,9	12,0-12,8
	decrésciente	7,2	2	

De acordo com o DNER (1999), para a classe de projeto I-A e relevo plano, características referentes a área em estudo, a largura mínima para cada faixa de rolamento é de 3,6 metros, sendo assim, por se tratar de uma pista dupla, a largura mínima da pista seria de 7,2 metros. Ao verificar na Tabela 4 os valores obtidos, nota-se que apenas no segmento 1, uma das pistas apresenta valor inferior ao recomendado.

No que se refere ao acostamento, os segmentos em estudo apresentam apenas acostamento externo, o qual segundo o DNER (1999), para a classe de projeto e relevo do local

em estudo, a largura mínima recomendada é de 3 metros, logo nota-se que apenas o segmento 1, apresenta ambas as pistas com a largura dentro do padrão determinado.

Quanto a largura do canteiro central, a norma traz como valor desejável, entre 10 e 12 metros, no entanto, ao verificar na tabela 4 os valores relacionados aos segmentos em análise, nota-se que apenas os segmentos 3 e 5 não variam muito acima do desejável.

Por fim, visando verificar uma compatibilidade geral de cada segmento com todos os parâmetros analisados, a tabela 5 traz um resumo de conformidades e não conformidades apresentadas por cada segmento.

Tabela 5: Tabela resumo dos parâmetros analisados em cada segmento

Parâmetros	Segmento1	Segmento 2	Segmento 3	Segmento 4	Segmento 5
Raio mínimo			Não analisado		
Sucessão entre curvas			Não analisado		
Ângulo de deflexão			Não analisado		
Intertangente mínima			Não analisado		
Rampas					
Largura da faixa de rolamento					
Largura da faixa de acostamento					
Largura do canteiro central					
Legenda:		Conforme			Não conforme

Diante disso nota-se que o segmento 2 se mostrou o segmento com maior quantidade de parâmetros com inconformidades, estando com 62,5% dos parâmetros analisados, fora das recomendações impostas pelo DNER (1999). Em contrapartida, tem-se o segmento 5 como o segmento com menor quantidade de inconformidades com apenas 25%, das características analisadas em desacordo.

O segmento 5 é aquele que apresenta a menor quantidade de parâmetros com inconformidades com a norma, atendendo a 75% dos parâmetros analisados dentro das recomendações, e também é o segmento cuja unidade padrão de severidade, se mostrou menos crítico que os demais. Enquanto isso, o segmento 2, com a maior taxa de inconformidade, foi também o segmento com o segundo maior valor de UPS. Logo, acredita-se que as inconformidades da via são fatores de alto peso para o aumento das incidências de acidentes nas vias, além de demonstrar que inúmeros problemas de infraestrutura ainda são enfrentados pela principal modalidade de transporte do país.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aumento demasiado da frota de veículos e de pessoas em uma sociedade implica no desdobramento de cadeias de outros fatores. Como exemplo, pode-se citar o aumento de giro de pessoas e mercadorias, e o conseqüente aumento no uso das rodovias do país como forma de escoamento. No entanto, o que é bastante comum, é o aumento da utilização das vias, não ser acompanhado do desenvolvimento e melhoria da qualidade de infraestrutura destas.

Ademais, tendo em vista a crescente quantidade de acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras, e também a influência das características geométricas na qualidade e segurança viária, o trabalho exposto teve como objetivo principal analisar as características geométricas de cinco segmentos críticos de uma rodovia, buscando caracterizá-los e verificar se existe relação entre inconformidades geométricas na via e os acidentes ocorridos.

Diante da análise dos projetos geométricos da rodovia, notou-se que os segmentos com maior incidência de acidentes de trânsito, são também aqueles com maior quantidade de parâmetros geométricos com inconformidade com as normas para estradas de rodagem brasileiras, uma vez que o segmento 2, que corresponde aquele com o segundo maior valor de UPS, é também o segmento que apresentou maior quantidade de inconformidades.

Já o segmento 5, aquele de menor valor de UPS, foi também o segmento que apresentou a menor quantidade de inconformidades, estando em conformidade com 75% dos parâmetros analisados.

Por fim, vê-se a necessidade do desenvolvimento de um programa de análise da qualidade de infraestrutura das vias já existentes, a fim de tentar melhorá-las através de adaptações e manutenções, visando garantir a segurança daqueles que trafegam nas vias, uma vez que estas, são o principal meio de transporte do país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anastasopoulos, P. C.; V. N. Shankar; J. E. Haddock e F. L. Mannering (2012) **A multivariate tobit analysis of highway accident injury- severity rates**. *Accident Analysis & Prevention*, v. 45, p. 110–119. DOI: 10.1016/j.aap.2011.11.006

BACCHIERI, G.; BARROS, A. J. D. **Acidentes de trânsito no Brasil de 1998 a 2010: muitas mudanças e poucos resultados**. *Revista de Saude Publica*, v. 45, n. 5, p. 949-63, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rsp/v45n5/2981>>. Acesso em: 10 abr. 2022.

BALDWIN, D. M. *The Relation of Highway Design to Traffic Accident Experience*. Convention Group Meetings, AASHTO, 1946, pp. 103-109.

Bitzl, F. W. **Accident Rates on German Expressways in Relation to Traffic Volumes and Geometric Design**. *Roads and Road Construction*, 1957.

Choueri *et al.* (1994). **Safety aspects of individual design elements and their interactions on two-lane highways: international perspective**. TRB, TRR 1445, p. 34-34. Washington.

CNT. **Pesquisa CNT de rodovias 2018: relatório gerencial**. Brasília: CNT: SEST SENAT, 2018. Disponível em: <www.cnt.gov.br>. Acesso em: 02 de março de 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Anuário Estatístico DENATRAN - RENAEST 2011**. [S.l.], 2011. Disponível em: <www.denatran.gov.br/frota.htm>

DNER, DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais*. 1ª. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 1999. 195 p. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e_manuais/manuais/documentos/706_manual_de_projeto_geometrico.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2022.

DONG, C. *et al.* **Assessment of the effects of highway geometric design features on the frequency of truck involved crashes using bivariate regression**. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 75, p. 30–41, maio 2015.

FINK, K. L e KRAMMES, R. A. **Tangent length and sight distance effects on accident rates at horizontal curves on rural two-lane highways**. TRB.TRR 1500. P.162-168. Washington. 1995.

FREIRE, Liz Helena Costa Varella. **Análise de tratamentos adotados em travessias urbanas-rodovias arteriais que atravessam pequenas e médias cidades no RS**. 2003. 148p. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/4864/000416433.pdf?...1>>. Acesso em: 12 abr. 2022.

GARBER, N. J.; HOEL, L. A. **Traffic and highway engineering**. Cengage Learning, 2014.

GARCIA, D. S. P. **Elaboração de Modelo de Previsão da velocidade operacional e classificação de rodovias do estado do Rio Grande do Sul quanto a sua consistência geométrica**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002.

GLENNON, J. C. *et al.* **Safety and operational considerations for design of rural highway curves**. FHWA/RD-86/035. U.S. Department of Transportation, 1985.

GOLD, Philip Anthony. **Segurança rodoviária**. In: Simpósio sobre obras rodoviárias, 2., 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABGE, 2002. p.7-11.

HOSSEINPOUR, M. *et al.* **Evaluating the effects of road geometry, environment, and traffic volume on rollover crashes**. Transport, v. 31, n. 2, p. 221–232, 2 abr. 2016.

IYINAM, A. F.; S. Iyınam e M. Ergun (1997) **Analysis of relationship between highway safety and road geometric design elements: Turkish case**. Technical University of Istanbul, Faculty of Civil Engineering, Turkey

LAMM, R. **Safety Evaluation of Highway Design Parameters**. International Journal: Strassen und Tiejbau (Road and Construction), vol.10, Oct. 1999, pp. 14-22.

LAMM, R.; SMITH, R.L. **Curvilinear alignment: Na importante issue for more consistente and safer road characteristic.** Transportation Research Record: Transportation research board, Washington, DC, n. 1445, p. 12-21, 1994.

LEE, Shu Han. **Introdução ao Projeto Geométrico de Rodovias.** 2ª edição. Santa Catarina: EdUFSC. 418p. 2005.

LIMA, I; Figueiredo, J; MORITA, P; Gold, P. 2008. Fatores condicionantes da gravidade dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras. Brasília. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10419/91363>> Acesso em: 20 jun 2022.

Ma, J. e Z. Li (2010) **Bayesian Modeling of Frequency-Severity Indeterminacy with an Application to Traffic Crashes on TwoLane Highways.** American Society of Civil Engineers. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/41127%28382%29110>>. Acesso em: 24 maio. 2022. DOI: 10.1061/41127(382)110

MADALOZO, H. **Desenvolvimento de ferramenta de análise de curvas horizontais de rodovias, para melhoramento de projeto e operação, utilizando redes neurais artificiais.** Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

MELO, R.; Setti, J. **Crítérios para implantação de faixas adicionais em rampas ascendentes das rodovias brasileiras.** Universidade de São Paulo, 2002.

MISSATO, L.L. **Contribuição ao estabelecimento de critérios de projeto para definição das características do canteiro central considerando sua relação com as condições de segurança em rodovias de pista dupla.** São Paulo, 2013.

PÉREZ, I. (2002). **Experiencia norteamericana en modelos que relacionan el número de accidentes y las variables del proyecto geométrico de las carreteras convencionales.** Rutas Revista de la Asociación Técnica de Carreteras, n.88, p.13-25.

RADIMSKY, M.; R. MATUSZKOVA e O. BUDIK (2016). **Relationship between horizontal curves design and accident rate.** Jurnal Teknologi, v. 78, n. 5–2. DOI: 10.11113/jt.v78.8493

RENGARASU, T.; HAGIWARA, T.; HIRASAWA, M. Effects of Road Geometry and Cross Section Variables on Traffic Accidents: Study Using Homogeneous Road Segments. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2102, p. 34–42, dez. 2009.

RODRIGUES, P; Silva, M. **Melhorias das condições de tráfego do trecho da rodovia MG-111, Simonésia a Manhaçu**. Minas Gerais, 2014.

RURAL ROAD DESIGN. **Association of Australian and New Zealand road transport and traffic authorities (Austroads)**. Sydney, 2003.

Sadeghi, A.; E. Ayati e M. P. Neghab, (2013). **Identification and prioritization of hazardous road locations by segmentation and data envelopment analysis approach**. *Promet – Traffic & Transportation*, v. 25, n. 2, p. 127-136.

SOUZA, Márcia Lopes Rodrigues de. **Procedimento para avaliação de projetos de rodovias rurais visando a segurança viária**. 2012. 206 p. Universidade de Brasília, Brasília, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/10610>>. Acesso em: 12 mar. 2022.

VOGT, Andrew; BARED, Joe. Accident models for two-lane rural segments and intersections. **Transportation Research Record**, 1635, p.18-29, 1997.

Zeeger, C; Deacon, J (1987). **Effect o flare width, shoulder width, and shoulder type on the Highway safety**. State of the art teport 6 – Relationship between safety and key highways features, TRB, pp.1-21.

Zeeger, C.V e Council, F.M (1995). **Safety relationship associated with cross-sectional roadway elements**. *Transportation research record*, n 1512.

3 CONCLUSÃO GERAL

Com o objetivo de analisar as características geométricas de cinco segmentos críticos de uma rodovia, buscando caracterizá-los e verificar se existe relação entre inconformidades geométricas na via e os acidentes ocorridos, foi desenvolvido este trabalho, o qual contou com quatro etapas.

Na primeira etapa realizou-se uma revisão literária a fim de identificar os elementos geométricos que contém relação com a segurança viária. Em seguida, na segunda etapa fez-se a coleta de dados onde verificou-se os acidentes ocorridos no período de 2017 a 2021, em um segmento da BR-060, o qual foi dividido em segmentos de 1,5 km cada, entre as cidades de Rio Verde (GO) e Jataí (GO). A fim de estabelecer os cinco segmentos mais críticos do segmento em estudo, fez-se o cálculo médio da unidade padrão de severidade.

Tendo definido os segmentos mais críticos iniciou-se a etapa 3 que consiste na análise de conformidade geométrica, onde foram analisados alguns parâmetros dentro do alinhamento horizontal, vertical e seção transversal. E por fim, na etapa 4, fez-se a análise dos resultados onde verificou-se dentro dos segmentos críticos, se as características da via estão em conformidade com as normas estabelecidas pelo DNER (1999), visando identificar relação entre os acidentes recorrentes na via e as características geométricas desta.

Diante disto, notou-se que os segmentos com maior incidência de acidentes de trânsito, são também aqueles com maior quantidade de parâmetros geométricos com inconformidade com as normas para estradas de rodagem, e então vê-se a necessidade de melhorias na infraestrutura para consequentemente haver também melhora na segurança viária.