



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**

**CAMPUS DE RUSSAS**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**RENAN ROCHA QUARESMA**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DE RODOVIAS  
NA FREQUÊNCIA E SEVERIDADE DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS**

**RUSSAS**

**2019**

RENAN ROCHA QUARESMA

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DE RODOVIAS NA  
FREQUÊNCIA E SEVERIDADE DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará – Campus de Russas, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Ms. Prof<sup>ª</sup>. Camila Lima Maia

Coorientadora: Dra. Prof<sup>ª</sup> Rosineide Fernandes da Paz

RUSSAS

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- Q26a Quaresma, Renan Rocha.  
Análise da influência de parâmetros geométricos de rodovias na frequência e severidade de acidentes rodoviários / Renan Rocha Quaresma. – 2019.  
66 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Engenharia Civil, Russas, 2019.  
Orientação: Profa. Ma. Camila Lima Maia.  
Coorientação: Profa. Dra. Rosineide Fernandes da Paz.
1. Segurança viária. 2. Parâmetros geométricos de rodovias. 3. Análise estatística. 4. Frequência de acidentes. 5. Severidade de acidentes. I. Título.

CDD 620

---

RENAN ROCHA QUARESMA

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DE RODOVIAS NA  
FREQUÊNCIA E SEVERIDADE DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará – Campus de Russas, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Ms. Prof<sup>a</sup>. Camila Lima Maia

Coorientadora: Dra. Prof<sup>a</sup> Rosineide Fernandes da Paz

Aprovado em: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>a</sup>. Ms. Camila Lima Maia (Orientadora)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Ms. Dênnys Araújo Santos

Centro Universitário Unichristus

---

Eng. Alênio Cesar Leitão Costa

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)

---

Prof<sup>a</sup> Dra. Rosineide Fernandes da Paz

Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

À minha mãe Antônia, minha irmã Renata e  
minha namorada Amanda, as mulheres da  
minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela dádiva da vida, sem Ele eu nada seria. Ao meu pai Renato Quaresma que diante de todas as dificuldades possibilitou essa minha conquista. Agradeço especialmente à minha mãe Antônia Rocha, a mulher mais guerreira que conheço, que sempre acreditou em mim e que por meio da educação me fez ser quem sou. E à minha irmã Renata Rocha, a quem eu quero possibilitar um futuro melhor.

Agradeço à minha Orientadora Prof<sup>a</sup> Camila Lima Maia, por sua dedicação, compreensão e por ter confiado na minha capacidade para chegar até aqui. Também à minha Coorientadora Prof<sup>a</sup> Rosineide Fernandes da Paz, que me deu um grande suporte para a realização deste trabalho. Vocês foram fundamentais.

Agradeço à minha namorada Amanda de Souza, por tornar os meus dias mais felizes, por me motivar, por estar comigo quando eu mais preciso, sempre me apoiar e mostrar que posso ser alguém melhor.

Meu agradecimento especial ao meu amigo Dênnis Veríssimo, a quem sempre posso confiar e que sempre esteve ao meu lado, nos momentos de alegria, mas também nos momentos de dificuldade. Agradeço aos amigos de longa data Luís Paulo e Jhon Lenon, pessoas incríveis que sempre me motivam, que alegram os meus dias e me inspiram a buscar conhecimento. Ao meu primo Gideoni Quaresma, por ser uma pessoa ilustre, por sempre me motivar e ser minha maior referência e inspiração, tanto na vida pessoal quanto acadêmica.

Ao Márcio Silva, por todo o suporte que tem dado a mim e à minha família nos últimos anos. À minha tia Masé Rocha, que sempre faz o possível para ver a nossa família bem. Ao Professora Ricardo César que marcou minha vida e despertou em mim o amor pelas ciências exatas.

À minha equipe de basquete NBJ (Novo Basquete Jaguaribe) por serem muito mais do que amigos, por tornarem essa caminhada mais divertida e sempre me motivarem a ser alguém melhor, especialmente aos amigos Glaucon e Cláudio Queiroz.

Meus agradecimentos especiais aos amigos que fiz durante estes anos, que compartilhei os melhores e os mais difíceis momentos, amizades estas que levarei até o último dia da minha vida. Germano Guedes, Paulo Henrique, Marcos Henrique, Filipe Falcão, Ronildo Farias, Marcelo Douglas, Thales Elias, Mateus Campos, Luciano Oliveira, e muitos outros que proporcionaram uma caminhada mais amena e prazerosa.

Por fim e não menos importante, agradeço à minha instituição e a todos que compõe a Universidade Federal do Ceará – Campus Russas, muito obrigado.

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo”.

Winston Churchill

## RESUMO

Haja vista a necessidade de prover segurança desde a infraestrutura até a operação dos diversos modos de transportes, este trabalho buscou analisar a influência que os parâmetros geométricos de rodovias têm na frequência e severidade de acidentes. Esta análise foi feita para um trecho rodoviário de 60,9 km da BR-116, compreendido entre Pacajus (km 52,90) e Boqueirão do Cesário (km 113,20), no estado do Ceará. Os parâmetros geométricos inicialmente utilizados foram ângulo central, raio, desenvolvimento e superelevação, todos obtidos por meio do Projeto Executivo de Engenharia e Estudos Ambientais para Duplicação de Segmento na Rodovia BR-116/CE, documento elaborado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), no ano de 2014. Já os dados acerca do histórico de acidentes rodoviários, foram obtidos através dos registros da Polícia Rodoviária Federal (PRF), no período de janeiro de 2014 a junho de 2019. Com os registros tornou-se possível a elaboração de um banco de dados que reunia os parâmetros geométricos referente às suas respectivas curvas. Após uma análise descritiva dos dados, adotou-se o modelo Binomial Negativo (BN) para a modelagem de frequência de acidentes e para a severidade foi feita uma análise quantitativa. Os resultados mostram que as variáveis Ângulo Central, Raio e Interação entre Ângulo Central e Raio possuem forte impacto na frequência de acidentes e que uma parte significativamente alta do total de acidentes ocorre em trechos curvos, com grande possibilidade de acidentes de severidades grave.

**Palavras-chave:** Segurança viária. Parâmetros geométricos de rodovias. Análise estatística. Frequência de acidentes. Severidade de acidentes.

## **ABSTRACT**

Given the need to provide safety from the infrastructure to the operation of the various modes of transport, this paper sought to analyze the influence that geometric parameters of highways have on the frequency and severity of accidents. This analysis was made for a 60.9 km stretch of highway BR-116, between Pacajus (km 52.90) and Boqueirão do Cesário (km 113.20), in the state of Ceará. The geometric parameters initially used were central angle, radius, development and superelevation, all obtained through the Executive Engineering and Environmental Studies Project for Duplication of Segment BR-116/CE, a document prepared by the National Department of Transport Infrastructure (DNIT), in 2014. Data on the history of road accidents were obtained from the Federal Highway Police (PRF) records, from January 2014 to June 2019. With the records it became possible to prepare of a database that gathered the geometric parameters for their respective curves. After a descriptive analysis of the data, the Negative Binomial (BN) model was adopted for accident frequency modeling and for severity a quantitative analysis was performed. The results show that the development variable has a strong impact on the frequency of accidents and that a significantly high proportion of the total accidents occur in curved sections, with a high possibility of accidents of severe severity.

**Keyword:** Road safety. Road geometric parameters. Statistical analysis. Accident frequency. Accident severity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - As 10 maiores causas de morte entre pessoas de 15 a 29 anos em 2015.....	16
Figura 2 - Evolução da extensão das rodovias federais pavimentadas - Brasil - 2007/2017..	18
Figura 3 - Curva horizontal circular simples. ....	23
Figura 4 - Curva horizontal circular com transição. ....	24
Figura 5 - Tipos de acidentes de trânsito.....	28
Figura 6 - Componentes de custo de acidentes nas rodovias federais (2014) (em %). ....	32
Figura 7 - Fatores Contribuintes.....	34
Figura 8 - Influência dos parâmetros geométricos .....	52
Figura 9 - Gráfico dos resíduos studentizados à esquerda e gráfico das probabilidades normais à direita. ....	54
Figura 10 - Gráfico normal de probabilidades com envelope simulado. ....	55
Figura 11 - Medidas de Influência. ....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frota de veículos por região - Brasil - Dezembro de 2007/2017 .....	17
Tabela 2 - Custo de acidentes nas rodovias federais (2014).....	31
Tabela 3 - Custo total e médio por gravidade de acidentes - rodovias federais brasileiras (2014). .....	32
Tabela 4 - Quantidade de acidentes por ano - janeiro 2014 a junho 2019. ....	41
Tabela 5 - Base de dados dos parâmetros geométricos das curvas. ....	42
Tabela 6 – Estatística descritiva do número de acidentes. ....	44
Tabela 7 – Estatística descritiva dos raios. ....	44
Tabela 8 – Estatística descritiva dos desenvolvimentos.....	45
Tabela 9 – Estatística descritiva dos ângulos centrais.....	45
Tabela 10 – Estatística descritiva da superelevação.....	46
Tabela 11– Matriz de correlação das variáveis. ....	49
Tabela 12 – Coeficientes do modelo de frequência de acidentes.....	50
Tabela 13 – Quantitativo da severidade dos acidentes .....	57

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico de dispersão para a variável X: desenvolvimento e Y: número de acidentes. ....	47
Gráfico 2 - Gráfico de dispersão para a variável X: ângulo e Y: número de acidentes. ....	47
Gráfico 3 - Custo total e médio por gravidade de acidentes - rodovias federais brasileiras (2014). ....	48
Gráfico 4 - Gráfico de dispersão para a variável X: superelevação e Y: número de acidentes. ....	48
Gráfico 5 - Percentual da severidade dos acidentes quanto ao estado físico das pessoas envolvidas nos acidentes. ....	58

## **LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CNT – Confederação Nacional do Transporte

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

PRF – Polícia Rodoviária Federal

CTB – Código de Trânsito Brasileiro

CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito

OMS – Organização Mundial da Saúde

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito

AIC – Critério de Informação de Akaike

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. Contextualização .....	16
1.2. Problema de pesquisa .....	19
1.3. Hipótese de pesquisa .....	20
1.4. Justificativa da pesquisa .....	20
1.5. Objetivos da pesquisa .....	20
1.5.1. Objetivo geral .....	20
1.5.2. Objetivos específicos.....	21
1.6. Estrutura do trabalho .....	21
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	22
2.1. Geometria da rodovia. ....	22
2.2. Fundamentos sobre acidentes de trânsito .....	25
2.2.1. Pessoas envolvidas no acidente .....	26
2.2.2. Tipos de acidentes .....	26
2.2.3. Gravidade do acidente .....	29
2.2.4. Classificação das vítimas quanto ao estado físico.....	29
2.2.5. Natureza do acidente .....	29
2.3. Custos dos acidentes de Trânsito no Brasil .....	30
2.4. Fatores associados aos acidentes .....	33
2.4.1. O fator humano.....	34
2.4.2. O fato veicular .....	34
2.4.3. O fator institucional/social.....	35
2.4.4. O fator socioeconômico.....	35
2.4.5. O fator meio ambiente .....	35
2.4.6. O fator viário .....	36
3. MATERIAIS E MÉTODO.....	38
3.1 Construção do banco de dados .....	38
3.2. Modelagem estatística .....	38

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	40
4.1. Projeto geométrico da duplicação do trecho.....	40
4.2. Análise da frequência de acidentes.....	41
4.2.1. Análise dos dados históricos de acidentes. ....	41
4.2.2. Extração e filtragem dos dados.....	41
4.2.3. Análise descritiva dos dados.....	43
4.2.4. Modelo de frequência de acidentes .....	49
4.2.5. Qualidade do ajuste. ....	53
4.3. Análise da severidade dos acidentes.....	56
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	59
REFERÊNCIAS .....	60
ANEXO A – BR 116/CE – KM 50 ao 113 - ACIDENTES GRAVES CLASSIFICADOS POR INTERVALOS DE 2 KM – JANEIRO DE 2014 A JUNHO 2019. ....	62
ANEXO B – BR 116/CE - KM 50 ao 113 - ACIDENTES GRAVES CLASSIFICADOS POR TIPO – JANEIRO DE 2014 A JUNHO 2019. ....	63
ANEXO C – BR 116/CE - KM 50 ao 113 - ACIDENTES GRAVES CLASSIFICADOS PELA CAUSA – JANEIRO DE 2014 A JUNHO 2019.....	64
ANEXO D – BR 116/CE - KM 50 ao 113 - ACIDENTES GRAVES CLASSIFICADOS POR TIPO DE VEÍCULO – JANEIRO DE 2014 A JUNHO 2019. ....	65

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Contextualização

O aumento progressivo de acidentes provenientes do tráfego rodoviário é notoriamente um dos maiores problemas do Brasil e do mundo contemporâneo. Desde o advento do automóvel, que se deu no início do século 20, até o ano de 2012, é estimado que 40 milhões de pessoas tenham morrido em razão dos acidentes de trânsito (Ferraz, 2012).

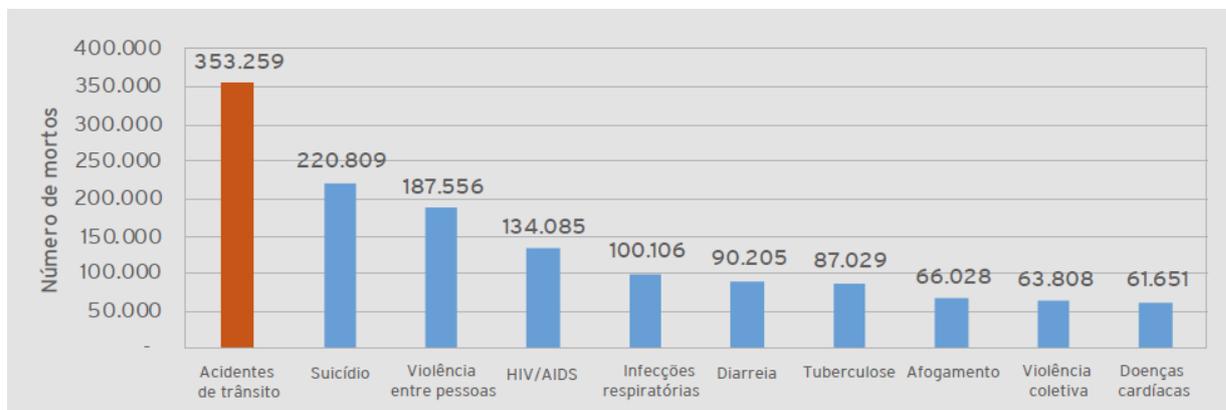
O transporte rodoviário é o modo de transporte mais utilizado no Brasil para o deslocamento de cargas e pessoas, o que indica que os acidentes rodoviários devem ser tratados com prioridade, visto o enorme prejuízo que trazem à economia e à sociedade.

Somente nas rodovias federais brasileiras policiadas, no período entre 2007 e 2017, o país registrou 1.652.403 acidentes e 83.481 mortes (CNT, 2018). Dados da Organização Mundial da Saúde (OMS) estimam que atualmente morrem cerca de 1,3 milhão de pessoas por ano, decorrentes de acidentes de trânsito (WHO, 2004).

Essa quantidade resulta em mais de 3.000 óbitos diários no mundo, um número catastrófico. Além disso, cerca de 50 milhões de pessoas sofrem em algum nível lesões que, seja ela física, mental e/ou psicológica, impossibilitam uma vida normal das vítimas (Ferraz, 2012).

Lesões ocasionadas pelos acidentes rodoviários são a principal causa de morte entre jovens com idade entre 15 e 29 anos (Figura 1) e estão entre as três principais causas de morte entre pessoas de 5 a 44 anos, chegando a custar à maior parte dos países cerca de 3% do PIB.

Figura 1: As 10 maiores causas de morte entre pessoas de 15 a 29 anos em 2015.



Fonte: Elaboração da CNT com dados da Organização Mundial da Saúde (OMS) (2017).

Esse cenário pode se tornar ainda pior se não forem implementadas medidas políticas eficientes que visem a diminuição deste problema, onde a estimativa é de que possa atingir cerca de 1,9 milhão de óbito no ano de 2020. Segundo a OMS, acidentes no trânsito ocupavam o 10º lugar nas principais causas de morte no mundo em 2000 e dados recentes mostram que já representava a 8ª principal causa mundial de mortes em 2016, onde lesões na estrada mataram 1,4 milhão de pessoas neste mesmo ano (WHO, 2018).

Além disso, o aumento do número de mortos nas rodovias é maior em países emergentes de baixa e média renda, onde o crescimento da frota e a taxa de ocupação urbana acompanham o crescimento econômico (CNT, 2018). Em muitos desses países, nota-se que o acelerado crescimento não acompanha o desenvolvimento de políticas adequadas de infraestrutura que absorvam tal aumento de fluxo de veículos.

Como consequência desse crescimento acelerado no Brasil, têm-se que apenas nos últimos dez anos, houve um aumento de 95,6% da frota de veículos (Tabela 1), não acompanhado pela evolução da malha rodoviária federal pavimentada, que cresceu no mesmo período, apenas 11,3% (Figura 2).

Tabela 1: *Frota de veículos por região - Brasil - Dezembro de 2007/2017.*

Região	2007	2017	Crescimento 2007/2017 (%)
Brasil	49.644.025	97.091.956	95,60%
Norte	1.927.008	5.028.603	161,00%
Nordeste	6.502.135	16.665.260	156,30%
Sudeste	26.272.123	47.258.591	79,90%
Sul	10.659.526	19.130.688	79,50%
Centro-Oeste	4.283.233	9.008.814	110,30%

Fonte: Elaboração da CNT com dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), 2017.

Figura 2: Evolução da extensão das rodovias federais pavimentadas - Brasil - 2007/2017.



Fonte: Elaboração da CNT com dados do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) (2017).

Diversos problemas relacionados a infraestrutura das vias têm sido evidenciados. O projeto geométrico da via, por exemplo, pode contribuir para a ocorrência de acidentes. Segundo Ferraz (2012) alguns desses problemas são: existência de curva de pequeno raio após longo trecho em tangente e/ou com curvas suaves, trechos com distância de visibilidade de frenagem ou ultrapassagem incompatível com a velocidade usual na via, superelevação e/ou superlargura inadequadas nas curvas, falta de legibilidade (o traçado da via não é suficientemente explícito para os usuários), entre outros.

As características geométricas de uma rodovia determinam a sua capacidade e definem, entre outros fatores, a velocidade regulamentada, a largura das faixas, os acostamentos e a necessidade de faixa adicional em trechos de grande fluxo (CNT, 2018). Assim, os princípios de segurança e de conforto ao usuário são elementos fundamentais a serem considerados na etapa de projeto geométrico das vias.

Dessa forma, este trabalho busca entender como as inadequações existentes na infraestrutura rodoviária vigente no projeto geométrico podem ser relevantes para a ocorrência de acidentes, uma vez que influenciam diretamente o comportamento e as tomadas de decisões dos condutores.

## 1.2. Problema de pesquisa

De maneira geral, os acidentes viários são consequências de três fatores: o usuário, o veículo e a via (Treat et al., 1979). Historicamente, nota-se que os acidentes viários, inclusive os que acontecem em rodovias, de acordo com a CNT (2018) em sua maioria, são resultados de diversos fatores, entre eles:

- Desenvolvimento urbano não planejado das áreas ao redor das rodovias;
- Fatores socioeconômicos;
- Aumento do fluxo de veículos;
- Condições inadequadas e insuficientes de engenharia/infraestrutura (por exemplo, curvas com superelevação ou superlargura incorreta, falta de defensas e placas em locais de risco, falta de sinalização, problemas de pavimento, entre outros);
- Comportamento impróprio do condutor (por exemplo, conduzir o veículo acima da velocidade permitida do local ou conduzir embriagado);
- Comportamento inadequado dos pedestres (por exemplo, não utilizar passarelas ou faixas de pedestre onde existem);
- Condições precárias dos veículos (por exemplo, não realizar revisões periódicas, pneus em estado de conservação inadequado);
- Condições meteorológicas (por exemplo, chuva, neblina);
- Problemas com a regulamentação (por exemplo, necessidade de atualização e revisão das leis de trânsito vigentes); e,
- Falta de fiscalização (por exemplo, o modo como as fiscalizações são realizadas), além do pouco investimento nos setores de transporte e segurança).

Dentre os fatores citados, nota-se que os parâmetros geométricos de rodovia influenciam na ocorrência e gravidade dos acidentes rodoviários. Dessa forma, este estudo visa analisar detalhadamente os parâmetros geométricos do trecho da BR-116, do km 52,9 (Pacajús) ao km 113,20 (Boqueirão do Cesário), para estabelecer a influência quantitativa destes para com a frequência e severidade dos acidentes ocorridos.

### **1.3. Hipótese de pesquisa**

Os parâmetros geométricos de curvas horizontais, tais como raio, ângulo central, desenvolvimento e superelevação, podem influenciar significativamente a frequência e a severidade dos acidentes ocorridos em rodovias.

### **1.4. Justificativa da pesquisa**

Os acidentes de trânsito têm impactos negativos no país diretamente ligados ao custo econômico, ambiental, humano e social. Nos custos econômicos estão incluídos os seguintes itens: despesas médicas e hospitalares, tratamento e reabilitação das vítimas, perdas materiais (veículos, produtos, postes, sinais de trânsito, muros, entre outros.), remoção dos veículos acidentados, resgate das vítimas, limpeza e reparo dos danos causados à via e à sinalização de trânsito, perdas de dia de trabalho, pensões e aposentadorias precoces, custos policiais e judiciários, funerais, entre outros (Ferraz, 2012).

Muito além dos custos econômicos, há também o custo humano e social. Sequelas físicas e psicológicas das vítimas, familiares e pessoas com ligação com as vítimas, podendo resultar em doenças de natureza psicológica que acometem vítimas e pessoas próximas, como depressão, fobias, entre outros males.

Já nos custos ambientais, pode-se citar por exemplo, acidentes que envolvem veículos que transportam produtos químicos, onde o derramamento da carga provocaria enormes danos ao meio ambiente, seja no solo, nas águas, na flora ou até mesmo no clima (Ferraz, 2012).

Portanto, este trabalho visa identificar as relações existentes entre os parâmetros geométricos da via com a ocorrência de acidentes, para que se possa reduzir ao máximo a exposição ao risco dos usuários da via, para conseqüentemente reduzir a frequência e a severidade dos acidentes.

### **1.5. Objetivos da pesquisa**

#### **1.5.1. Objetivo geral**

Analisar a influência dos parâmetros geométricos da rodovia BR-116 na frequência e severidade dos acidentes nas curvas horizontais.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Criar um banco de dados, estabelecendo relação entre os acidentes rodoviários com os parâmetros geométricos de curvas horizontais de um trecho da BR-116, entre os km 52,9 (Pacajus) e km 113,20 (Boqueirão do Cesário);
- Analisar a influência de parâmetros geométricos de curvas horizontais da via na frequência e severidade de acidentes rodoviários, sendo eles ângulo central, desenvolvimento, raio e superelevação;
- Propor, se necessário, atualizações de diretrizes de projeto geométrico rodoviário no âmbito das rodovias federais.

### **1.6. Estrutura do trabalho**

O presente trabalho é formado por 5 capítulos, sendo este o primeiro capítulo, no qual aborda a contextualização do estudo, apresentando os elementos importantes como o tema, a problemática, hipótese, justificativa e objetivos da pesquisa.

O capítulo 2 faz uma revisão da literatura acerca do tema, a fim de se ter um melhor embasamento e aprofundamento teórico do assunto.

O capítulo 3 apresenta os materiais e métodos que foram utilizados na pesquisa, descrevendo o processo de elaboração e formação do banco de dados das informações de acidentes viários no trecho de estudo, por meio de dados históricos de acidentes fornecidos pela Polícia Rodoviária Federal (PRF).

No capítulo 4 é apresentado de forma detalhada os resultados obtidos no estudo e faz uma discussão dos mesmos, propondo melhorias a serem aplicadas.

O capítulo 5 apresenta as considerações finais do trabalho e propõe temas para a realização trabalhos futuros.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Geometria da rodovia

Segundo Pontes Filho (1998), a geometria de uma estrada é definida pelo traçado do seu eixo em planta e pelos perfis longitudinal e transversal. De maneira simplificada, o traçado em planta é composto de trechos retos concordados por curvas horizontais que são usadas, em geral, para desviar de obstáculos que não possam ser vencidos economicamente (Pontes Filho, 1998).

De acordo com Leal (2014), ao se comparar o número de acidentes entre trechos curvos e tangentes, percebe-se que são mais frequentes os acidentes em trechos curvos, podendo ser de 1,5 a 4 vezes maior do que os trechos em tangentes. Isso ocorre devido ao aumento das capacidades de reação do motorista e do veículo. Ainda segundo o autor, a severidade dos acidentes em curvas também é algo a ser discutido, uma vez que a probabilidade de se resultar em mortes e ferimentos graves é bem grande.

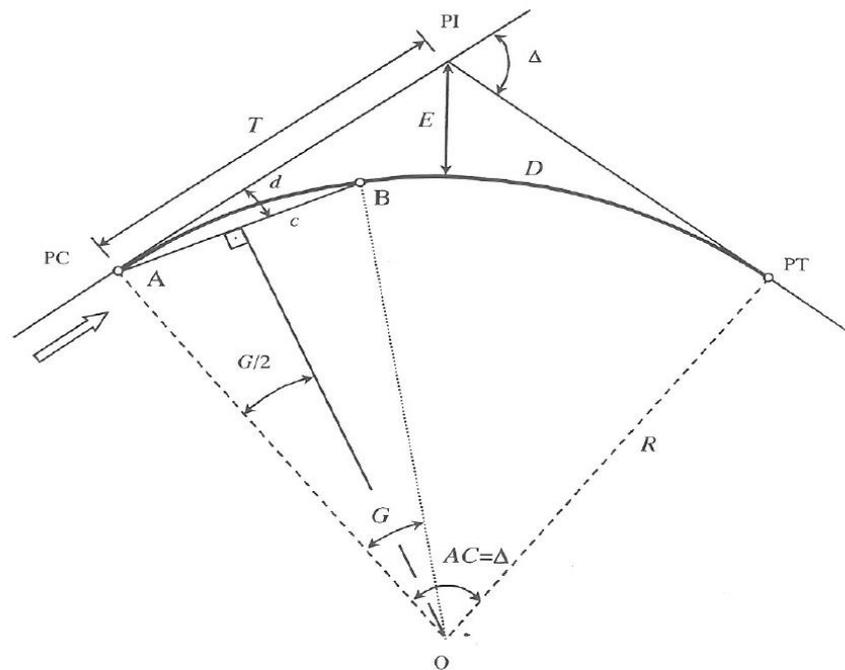
Estudos realizados com a investigação da relação existente entre as curvas horizontais e os acidentes rodoviários identificaram o volume de tráfego, o percentual do projeto e as características de projeto da curva como influências significativas a ocorrência de acidentes em curvas horizontais. Dentre os parâmetros geométricos das curvas horizontais, o grau de curvatura teve a maior influência no potencial de ocorrência de acidentes, segundo OGDEN (1996) *apud* LEAL (2014).

Outros dois fatores que têm efeito na segurança em curvas horizontais são as existências de superlargura e superelevação, ou seja, o alargamento e elevação dos bordos da pista, fazendo com que a segurança e a comodidade dependentes das características da seção transversal permaneçam inalteráveis quando se compara aos trechos retos (TRB, 1987 *apud* LEAL, 2014).

A superlargura reduz o estresse dos motoristas de forma considerável ao passar por outros automóveis no interior da curva e, também, o risco de colisões transversais. A superelevação adequada contribui para aumentar o conforto e a segurança dos motoristas e passageiros durante o percurso pelas curvas horizontais (LEAL, 2014).

Na Figura 3 é possível observar alguns dos principais elementos de uma curva horizontal circular simples e na Figura 4 é possível observar alguns dos principais elementos de uma curva horizontal circular com transição.

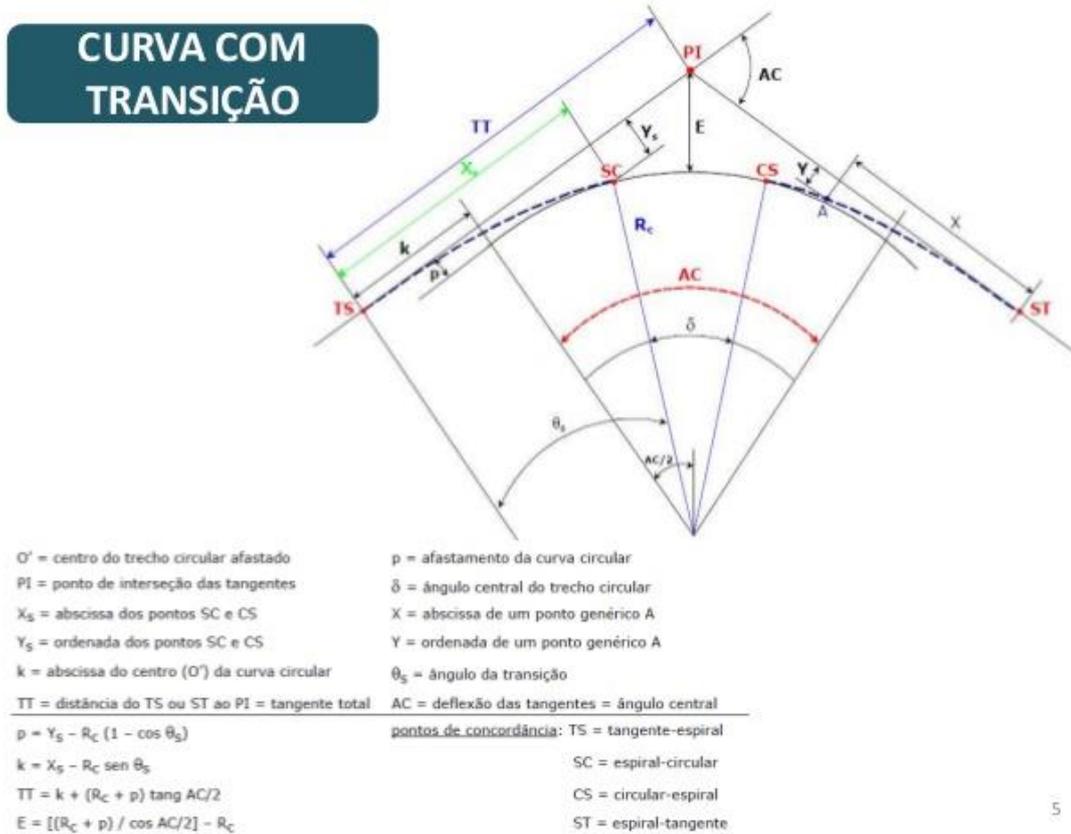
Figura 3: Curva horizontal circular simples.



PC = ponto de curva	$T$ = tangente externa
PT = ponto de tangente	$O$ = centro da curva
PI = ponto de interseção das tangentes	$E$ = afastamento
$D$ = desenvolvimento da curva	$G$ = grau da curva
$\Delta$ = ângulo de deflexão	$c$ = corda
$AC$ = ângulo central da curva	$d$ = deflexão sobre a tangente
$R$ = raio da curva circular	

Fonte: Estradas de rodagem: projeto geométrico. Glauco Pontes Filho (1998).

Figura 4: Curva horizontal circular com transição.



Fonte: <https://www.slideshare.net/jpssunb/proj-estradas-2-curva-transio>. Acesso em: 12 de dezembro de 2019.

O presente trabalho, analisará alguns dos principais parâmetros de uma curva circular, são eles: raio, ângulo central, desenvolvimento e superelevação. De acordo com Pontes Filho (1998), define-se estes elementos da curva como:

- Raio (R): é o raio do arco de círculo empregado na concordância, expresso em metros. É um elemento selecionado por ocasião do projeto, de acordo com as características técnicas da rodovia e a topografia da região;
- Ângulo Central (AC): é o ângulo formado pelos raios que passam pelo PC e PT e que se interceptam no ponto O;
- Desenvolvimento (D): é o comprimento do arco de círculo, desde o PC até o PT;

- Superelevação (S): é a inclinação transversal necessária nas curvas a fim de combater a força centrífuga desenvolvida nos veículos e dificultar a derrapagem. Ela é função do raio de curvatura e da velocidade do veículo, expressa pela equação 1.

$$e + f = \frac{V^2}{127.R} \quad (1)$$

## 2.2. Fundamentos sobre acidentes de trânsito

De acordo com Ferraz (2012), considera-se como um acidente de trânsito um evento envolvendo um ou mais veículos, motorizados ou não, em movimento por uma via, que provoca ferimentos em pessoas e/ou danos em veículos e/ou outros elementos (postes, edificações, sinais de trânsito, entre outros).

Ainda segundo Ferraz (2012), deveria também ser considerado um acidente de trânsito a queda de um pedestre, pois a definição de trânsito engloba a movimentação de veículo e pessoas, no entanto, esse tipo de evento é usualmente considerado como um acidente comum e não acidente de trânsito.

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), define, em sua NBR 10.697/1989, um acidente de trânsito como:

“Acidente de trânsito é todo evento não premeditado de que resulte dano em veículo ou na sua carga e/ou lesões em pessoas e/ou animais, em que, pelo menos, uma das partes está em movimento nas vias terrestres ou áreas abertas ao público. Pode originar-se, terminar ou envolver veículo parcialmente na via pública.”

Para o IPEA (2006) (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), tem-se que:

“Acidente é um evento independente e não intencional do desejo do homem, causado por uma força externa, alheia, que atua

subitamente e deixa ferimentos no corpo, na mente e danos materiais e ao meio ambiente”.

De acordo com a Política Nacional de Redução da Morbimortalidade por Acidentes e Violências, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2001), afirma que “acidente de trânsito é um evento não intencional, mas evitável, causador de lesões físicas e emocionais”.

### **2.2.1. Pessoas envolvidas no acidente**

De acordo com a norma da ABNT - NBR 10.697/1989, que define os termos técnicos utilizados na preparação e na execução de pesquisas relativas a acidentes de trânsito e à elaboração de relatórios, pode-se elencar que os envolvidos em acidentes viários são: pedestres, condutores, vítima e vítima fatal de acidente de trânsito.

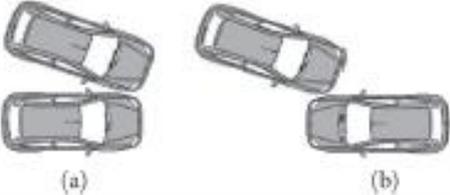
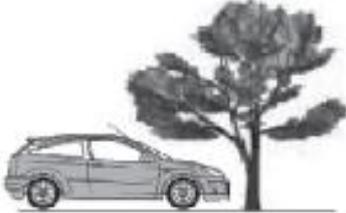
- O pedestre é toda pessoa a pé que esteja utilizando de vias terrestres ou áreas abertas ao público, desde que não esteja em veículo a motor, trem, bonde, transporte animal ou outro veículo, ou sobre bicicleta ou sobre animal.
- O condutor é toda pessoa que conduza um veículo automotor, ou de outro tipo, incluindo os ciclos, ou que guie por uma via, cabeças de gado isoladas, rebanho, bando ou manadas, ou animais de tiro, carga ou sela.
- A vítima de acidente de trânsito é toda pessoa que sofre lesões físicas e/ou perturbações mentais, em razão de acidente de trânsito, independentemente de sua culpa civil ou penal.
- A vítima fatal de acidente de trânsito é a vítima que falece em razão das lesões e/ou decorrentes do acidente de trânsito, no momento ou até 30 dias após a ocorrência do acidente.

### **2.2.2. Tipos de acidentes**

Ainda segundo a NBR ABNT 10.697/1989, pode-se classificar os tipos de acidentes viários em: atropelamento, capotamento, choque, colisão, queda, tombamento e demais tipos, como ilustrado na Figura 5.

- O atropelamento é o acidente em que o(s) pedestres ou animal(is) sofre(m) o impacto de um veículo, estando pelo menos uma das partes em movimento.
- O capotamento é o acidente em que o veículo gira sobre si mesmo, em qualquer sentido, chegando a ficar com as rodas para cima, imobilizando-se em qualquer posição.
- O choque é o acidente em que há impacto de um veículo contra qualquer objeto fixo ou móvel, mas sem movimento.
- A colisão é o acidente em que um veículo em movimento sofre o impacto de outro veículo, também em movimento.
- A queda é o acidente em que há impacto em razão de queda livre do veículo, ou queda de pessoas ou cargas por ela transportadas.
- O tombamento é o acidente em que o veículo sai de sua posição normal, imobilizando-se sobre uma de suas laterais, sua frente ou sua traseira.
- E demais tipos são qualquer acidente que não se enquadre nas definições anteriores.

Figura 5: Tipos de acidentes de trânsito.

Colisão traseira	
Colisão frontal	
Colisão transversal	
Colisão lateral no mesmo sentido (a) e em sentido contrário (b)	
Choque	
Atropelamento	
Tombamento	
Capotagem	
Engavetamento	

Fonte: Segurança Viária, Coca Ferraz (2012).

### **2.2.3. Gravidade do acidente**

Quanto à gravidade dos acidentes a NBR 10.697/1989 divide em:

- Acidente com ferido: É qualquer acidente de trânsito em que uma ou mais pessoas sofrem lesões.
- Acidente com morte: É qualquer acidente de trânsito em que ocorra a morte de, pelo menos, uma pessoa. Portanto, é possível que em um acidente com morte, também existam feridos.
- Acidente com vítima: É o conjunto de acidentes com feridos e com morte.

### **2.2.4. Classificação das vítimas quanto ao estado físico**

A seguir, é apresentada a classificação quanto ao estado das vítimas, segundo a NBR 10.697/1989.

- Fatal: Quando a vítima falecer em razão dos ferimentos recebidos no local do acidente, ou depois de socorrida no período até a conclusão do boletim de ocorrência.
- Grave: Quando a vítima sofre lesões graves que exigem tratamento médico mais prolongado, por exemplo: ferimentos cranianos, fraturas em geral, cortes profundos, lacerações de grande extensão, entre outros.
- Leve: Quando a vítima sofre ferimentos leves em geral superficiais, que não exigem tratamento médico prolongado.
- Ileso: Quando a vítima não sofre nenhum tipo de ferimento aparente, nem apresenta sintomas ou queixas de lesões internas.

### **2.2.5. Natureza do acidente**

O conceito de atropelamento definido pela ABNT NBR 10.697/1989 em: atropelamento de pedestre e atropelamento de animal.

- Atropelamento de pedestre é o acidente em que o(s) pedestre(s) sofre(m) o impacto de um veículo, estando pelo menos uma das partes em movimento.
- Atropelamento de animal é o acidente em que um animal sofre o impacto de um veículo, estando pelo menos uma das partes em movimento.

### **2.3. Custos dos acidentes de trânsito no Brasil**

Naturalmente não se pode estimar ou calcular o que representa a perda de uma vida humana, assim como as sequelas psíquicas e traumáticas que surgem após a ocorrência de um acidente para com a vítima e seus familiares. Todavia, existem custos financeiros inerentes aos acidentes, que impactam diretamente a sociedade como um todo, e estes podem ser estimados.

Entre os anos 2001 e 2006, o Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (IPEA), junto a Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP) e o Departamento Nacional de Trânsito (Denatran) (2006), desenvolveu duas pesquisas a respeito dos custos, as quais foram: Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas aglomerações urbanas (entre os anos 2001 e 2003) e Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras (entre os anos 2004 a 2006).

De acordo com dados da Polícia Rodoviária Federal (PRF) (2014), só no ano de 2014, houveram 167.247 acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras, com 8.233 mortes e 26.182 feridos graves. Conforme pode-se observar na Tabela 2, esses acidentes geraram um custo para a sociedade de R\$ 12,8 bilhões, sendo que 62% desses custos estavam associados às vítimas dos acidentes, como cuidados com a saúde e perda de produção devido a lesões ou morte, e 37,4% associados aos veículos, como danos materiais e perda de carga, além dos procedimentos de remoção dos veículos acidentados.

Tabela 2: *Custo de acidentes nas rodovias federais (2014).*

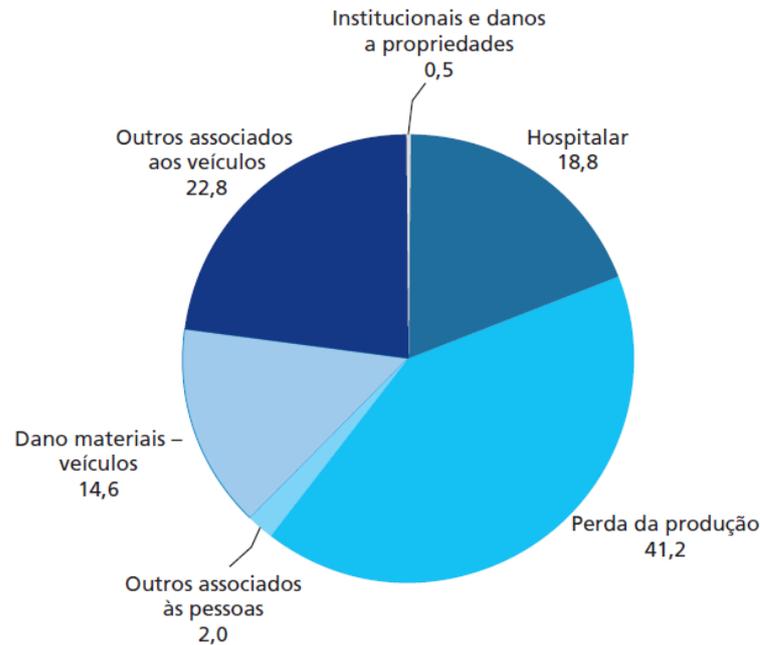
Custos	Descrição	Valor	(%)
Associados às pessoas	Despesas hospitalares; atendimento; tratamento de lesões; remoção de vítimas; e perda de produção	R\$7.950.904.442,00	62,0
Associados aos veículos	Remoção de veículos; danos aos veículos; e perda de carga	R\$4.800.442.760,00	37,4
Instit. e danos propriedades	Atendimento; e processos e danos à propriedade pública e privada	R\$69.995.293,00	0,5
<b>Total</b>		<b>R\$12.821.342.495,00</b>	100

Fonte: Ipea, Denatran e ANTP (2006), com atualização da base de acidentes da PRF (2014).

Analisando-se a Figura 6, que detalha os custos separadamente, percebe-se que o maior valor estimado é referente à perda de produção das pessoas (41,2%), que, segundo o relatório do Ipea (2006), representa o quanto de renda uma vítima de acidente de trânsito deixa de obter, tanto a longo do período em que esteja afastada das atividades econômicas como, no caso de morte, em relação a sua expectativa de vida.

Dessa forma, os impactos da perda de produção recaem sobre a previdência social e também sobre a família, em função de seu empobrecimento. E como pode-se notar, o segundo maior custo é o hospitalar, que representa cerca de 20% do total.

Figura 6: Componentes de custo de acidentes nas rodovias federais (2014) (em %).



Fonte: Ipea, Denatran e ANTP (2006), com atualização da base de acidentes da PRF (2014).

Em média, cada acidente custou à sociedade brasileira R\$ 261.689, sendo que um acidente envolvendo vítima fatal teve um custo médio de R\$ 664.821. Esse tipo de acidente correspondeu a menos de 5% do total de ocorrências, todavia representou cerca de 35% dos custos totais, o que indica a necessidade de intensificar políticas públicas que visem a redução não apenas da quantidade de acidentes, mas também quanto a gravidade (Tabela 3).

Tabela 3: Custo total e médio por gravidade de acidentes - rodovias federais brasileiras (2014).

Gravidade do acidente	Quantidade de acidentes	Custo total (R\$) de dez./2014)	Custo médio (R\$ de dez./2014)
Com fatalidade	6.743	R\$4.482.891.117,00	R\$664.821,46
Com vítimas	62.346	R\$6.031.838.004,00	R\$96.747,79
Sem vítimas	98.158	R\$2.306.592.728,00	R\$23.498,77
<b>Total</b>	<b>167.247</b>	<b>R\$12.821.321.848,00</b>	<b>R\$261.689,00</b>

Fonte: Ipea, Denatran e ANTP (2006), com atualização da base de acidentes da PRF (2014).

## 2.4. Fatores associados aos acidentes

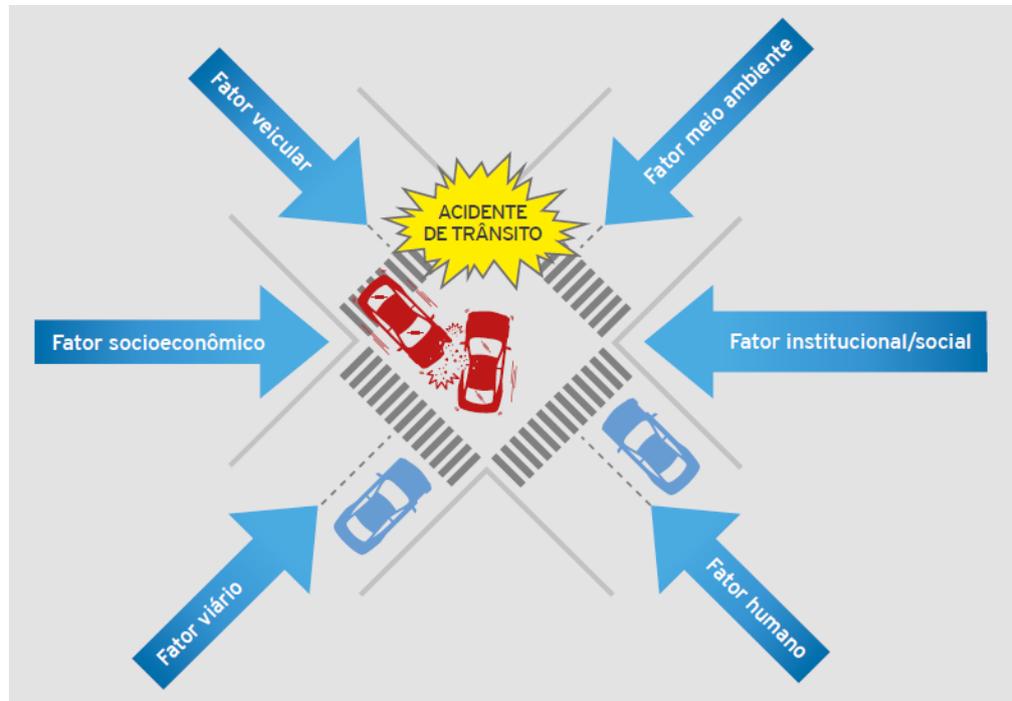
Normalmente, atribui-se apenas um fator contribuinte principal para a ocorrência de um acidente, principalmente em relatórios policiais sobre acidentes, que de um modo geral está associado ao fator humano, ainda que a maioria deles não possa estar associada a um único evento causal. Os acidentes de trânsito acontecem, em geral, por uma convergência de fatores, sendo possível identificar um ou mais fatores determinantes (que contribuíram diretamente) e outros fatores não determinantes (que contribuíram indiretamente) (Ferraz, 2012).

Segundo Ferraz (2012), denomina-se fator de risco associado à ocorrência de acidentes de trânsito qualquer fator que aumenta a probabilidade da sua ocorrência. Ainda segundo Ferraz (2012), o risco de ocorrência dos acidentes em uma visão abrangente está relacionado com a exposição ao trânsito, o binômio legislação/fiscalização e um grande número de fatores associados aos componentes físicos do sistema de trânsito: ser humano, veículo, via e meio ambiente.

Considerando-se que mais de um fator se relaciona na ocorrência de acidentes, ao se excluir um único fator, reduzem-se as chances de ocorrência. Dessa forma, determinar esses fatores pode subsidiar o estabelecimento de políticas adequadas de prevenção (CNT, 2018).

Os fatores contribuintes de um acidente rodoviário podem ser definidos como as principais ações, falhas ou condições que levaram à sua ocorrência (CNT, 2018) e neste estudo, foram classificados nos seguintes fatores: humano, veicular, institucional/social, socioeconômico, meio ambiente e viário, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7: Fatores Contribuintes.



Fonte: Elaboração CNT - Acidentes rodoviários e a infraestrutura (2018).

#### 2.4.1. O fator humano

O fator humano está associado ao comportamento do indivíduo no trânsito, seja ele como condutor, seja como pedestre (CNT, 2018). Tal comportamento, de forma isolada, ou associado a outros fatores, pode resultar na ocorrência de acidentes viários.

São exemplos de fatores humanos: o desrespeito às normas de trânsito, o consumo de bebidas alcoólicas, a não sinalização ao realizar manobras, a realização de travessias de vias em locais impróprios, o uso de telefones celulares enquanto dirige, entre outros.

#### 2.4.2. O fato veicular

O fator veicular está associado a problemas no desempenho dos veículos envolvidos no acidente, em geral, diretamente relacionados a um mal estado de conservação de pneus, problemas de freio, faróis desregulados, entre outros (CNT, 2018). Esse é um fator de enorme dificuldade de avaliação, devido principalmente aos danos apresentados no veículo após o acidente.

A falta de manutenção adequada dos veículos pode contribuir de forma direta ou indireta na ocorrência de acidentes. Segundo Ferraz (2012), alguns dos problemas mais críticos são os seguintes: pneus com desgaste acentuado ou defeituosos, freios desregulados, sistema de suspensão/estabilização com problemas, luzes dos faróis ou das lanternas queimadas, limpador do para-brisa sem funcionar ou com mau funcionamento, falta de buzina, espelho retrovisor quebrado ou com defeito, faróis desregulados, etc.

#### **2.4.3. O fator institucional/social**

Este fator diz respeito à regulamentação e o policiamento (fiscalização), embora estes aspectos não sejam considerados como fatores contribuintes na análise dos acidentes.

O Código Nacional de Trânsito procura definir adequadamente, de forma regulamentada, em todas as situações possíveis, qual deveria ser o comportamento dos usuários do sistema viário (condutores e pedestres), e em relação à segurança viária, é papel institucional policial fazer os usuários cumprirem as normas e condutas do Código Nacional de Trânsito (CNT, 2018).

#### **2.4.4. O fator socioeconômico**

Fatores socioeconômicos entram como fatores contribuintes, uma vez que podem influenciar o aumento do fluxo de veículos e o modo de direção (CNT, 2018). Como visto anteriormente, o aumento da frota veicular e taxa de ocupação urbana acompanham o crescimento econômico, mas nem sempre as adequações na infraestrutura.

A avaliação deste fator socioeconômico da população, ainda que incluído como um fator contribuinte, não tem sido destacado nos estudos de acidentes, o que pode ser de grande importância para estudos e análises futuras.

#### **2.4.5. O fator meio ambiente**

As precipitações, por exemplo, segundo Ferraz (2012), trazem os seguintes problemas para a segurança viária: molham a pista reduzindo o atrito entre os pneus e o pavimento,

prejudicam a visibilidade (fato mais acentuado no período noturno) e podem levar à formação de poças de água sobre a pista provocando o fenômeno denominado aquaplanagem ou hidroplanagem - que ocasiona a perda do controle do veículo devido à falta de aderência dos pneus com a pista. Além disso, neblina e fumaça pode reduzir significativamente a visibilidade, entre outros aspectos do meio ambiente.

Ainda que haja falha ao se deparar com essas situações, a rodovia deve permitir que o motorista se recupere do evento e prossiga de forma segura, modificando a consequência da sua atitude ou, caso seja impossível a reversão total da situação, aos menos reduzir a severidade e gravidade do acidente.

#### **2.4.6. O fator viário**

O fator viário leva em consideração todas as características da infraestrutura rodoviária do local e que podem levar à ocorrência de acidentes. A insegurança causada pelas condições precárias da infraestrutura pode estar associada a problemas de geometria da via (falhas no projeto ou falha na adequação da capacidade), sinalização (inexistência ou informação incorreta devido a problemas de implantação e de manutenção) e ao estado do pavimento (CNT, 2018).

Em relação ao pavimento, de acordo com Ferraz (2012) os seguintes defeitos na pista podem ser considerados fatores de risco associados à ocorrência de acidentes: buracos, sulcos pronunciados, superfície escorregadia, deficiência da drenagem que deixa água acumulada sobre a pista, lombada ou valeta pronunciada, degrau no acostamento de rodovias, entre outros.

Uma sinalização inadequada está diretamente associada à ocorrência de acidentes. Segundo Ferraz (2012), em especial, três aspectos são considerados críticos: falta de visibilidade das linhas de demarcação de borda, de separação de faixas e de parada obrigatória (mais comum de ocorrer à noite e em condições climáticas adversas); ausência de elementos verticais refletivos demarcadores de curvas de pequeno raio, ilhas, obras, entre outros.; e inexistência de avisos prévios de mudanças nas características da via devido à presença de obras na pista, semáforos, cruzamentos com via preferencial, acidentes, incidentes, entre outros.

O Código de Trânsito Brasileiro (CTB) (1997) dispõe, em seu artigo 88, o seguinte:

Nenhuma via pavimentada poderá ser entregue após sua construção, ou reaberta ao trânsito após a realização de obras de manutenção, enquanto não estiver devidamente sinalizada, vertical e horizontalmente, de forma a garantir as condições adequadas de segurança na circulação (BRASIL, 1997).

As normas de aplicação das sinalizações vertical e horizontal, são definidas pelos Manuais Brasileiros de Sinalização de Trânsito do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Sinalizações estas que são responsáveis por orientar e regulamentar o deslocamento nas ruas e rodovias do país.

Segundo a Resolução do Contran nº 180, de 26 de agosto de 2005, a sinalização vertical de regulamentação tem por função regulamentar as obrigações, limitações e proibições que governam o uso da via.

Já a sinalização horizontal, diz respeito a parte da sinalização viária composta de marcas, símbolos e legendas colocados sobre o pavimento da pista de rolamento. Entre outras finalidades, serve para ordenar o fluxo de veículos, orientar o deslocamento frontal dos veículos, disciplinar a movimentação de pedestres, orientar os deslocamentos de veículos em função das condições físicas da via, tais como geometria e obstáculos existentes (CNT, 2018).

Um projeto geométrico da via com inadequações, pode resultar em diversos problemas e contribuir para a ocorrência de acidentes. Fatores geométricos considerados durante a elaboração de um projeto de rodovias estão diretamente relacionados à distância de visibilidade e à velocidade máxima permitida (CNT, 2018). E vale ressaltar que nesta etapa, os princípios de segurança e conforto ao usuário é de vital importância.

Essas características geométricas da via afetam diretamente as condições de segurança viária, podendo influenciar a habilidade do motorista em manter o controle do veículo ou identificar situações e características perigosas, facilitando a saída de pista de um veículo desgovernado e comprometendo a atenção dos condutores.

A presença de curvas perigosas, por exemplo, segundo suas características geométricas, pode resultar em tragédias. Dessa forma, nota-se a importância de uma análise das características geométricas dos projetos de rodovias.

### 3. MATERIAIS E MÉTODO

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de quatro principais etapas metodológicas:

- (i) Revisão de literatura;
- (ii) Construção do banco de dados;
- (iii) Modelagem da frequência e análise da severidade dos acidentes;
- (iv) Análise da influência dos parâmetros geométricos.

#### 3.1. Construção do banco de dados

A construção do banco de dados se deu através da adequação entre o projeto geométrico de duplicação do trecho obtidos com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e dados fornecidos pela Polícia Rodoviária Federal (PRF), a respeito do histórico de acidentes, no período de janeiro de 2014 a junho de 2019; e a modelagem da frequência de acidentes e análise da severidade dos acidentes utilizou métodos estatísticos.

#### 3.2. Modelagem estatística

Para a análise estatística dos dados foram usados os *softwares* R e R *Studio* e o *software* Excel ®. O R é ao mesmo tempo um tipo linguagem e um *software* computacional e gráfico (Ritter, 2019).

O R realiza diversas tarefas, como, por exemplo, comparação com base de dados, modelagem, produção de mapas entre outras, sendo uma ferramenta excelente para manipular dados e realizar testes estatísticos. O R *Studio*, é um ambiente integrado de desenvolvimento para o R, um programa que tem como base o R, mas que apresenta uma interface mais amigável e mais funcional (Ritter, 2019).

Já o *software* Excel ® é um editor de planilhas desenvolvido pela *Microsoft*, de interface intuitiva e possui inúmeras ferramentas de cálculo e construção de tabelas, sendo parte do pacote *Microsoft Office*.

O R foi utilizado para realizar a análise do modelo de frequência de acidentes, relacionando os parâmetros geométricos das curvas no trecho estudado com a frequência de acidentes em cada curva, na série histórica (entre janeiro de 2014 e junho de 2019). Já o Excel<sup>®</sup> foi utilizado para confeccionar o banco de dados e realizar a análise descritiva dos dados.

Os parâmetros geométricos estudados para o modelo de frequência de acidentes foram o Raio da curva, a superelevação, o ângulo central da curva e o desenvolvimento da curva. Para o modelo de frequência de acidentes, foi inicialmente calculada a matriz de correlação entre as variáveis independentes (Raio, Superelevação, Ângulo Central e Desenvolvimento) e a variável dependente (Número de Acidentes) de modo a avaliar se as variáveis eram bem correlacionadas com a variável resposta e pouco correlacionadas entre si. Adicionalmente, verificou-se qual modelo poderia melhor representar o conjunto de dados utilizados no estudo, escolhendo o modelo Binomial Negativo.

Para a construção do modelo de frequência de acidentes, inicialmente foi determinada a matriz de correlação das variáveis, produzida no *software Excel*, por meio da ferramenta Análise de dados. O modelo de frequência de acidentes foi obtido utilizando o *software R*, usando a técnica *stepwise*, em que variáveis e interações são incluídas e excluídas do modelo para se obter um critério para comparação de todos os submodelos obtidos a partir do modelo inicial com todas as variáveis. O critério de seleção utilizado no *stepwise* foi o Critério de Informação de Akaike (AIC).

Após a seleção de variáveis, uma análise de resíduos (diferenças entre os valores ajustados pelo modelo e os observados, que na sua forma original é chamado de resíduo ordinário) foi realizada para verificar se o submodelo escolhido pelo método *stepwise* fornece um bom ajuste aos dados.

Além disso, foram realizados os testes para inferir tanto sobre a significância do modelo, quanto ao ajuste dos dados, chegando a um modelo de regressão Binomial Negativo significativo para representar a frequência de acidentes no conjunto de dados estudados.

A severidade dos acidentes foi analisada utilizando estatística descritiva e análises e quantitativas, sendo os resultados das análises apresentados através de tabelas e gráficos, pois não foi possível obter as variáveis que poderiam ser usadas em um modelo de severidade de acidentes (variáveis relacionadas às condições climáticas, segundo Andriola et. al. (2018)).

A análise descritiva dos dados, o modelo de frequência de acidentes e a análise da severidade dos acidentes rodoviários estão apresentados no capítulo a seguir.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1. Projeto geométrico da duplicação do trecho**

O acesso ao projeto geométrico da via foi possível por meio do Projeto Executivo de Engenharia e Estudos Ambientais para Duplicação de Segmento na Rodovia BR-116/CE, documento fornecido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), elaborado no ano de 2014.

Este relatório tinha o intuito de definir as características técnicas para a duplicação da rodovia BR-116/CE, no trecho compreendido entre km 52,90 (Pacajus) a km 113,20 (Boqueirão do Cesário), com extensão total de 60,9 km, características essas como raios, rampas, greides e larguras de plataformas, entre outras, com precisão de tal forma que permitisse sua implantação da duplicação.

Segundo o Relatório Executivo (DNIT, 2014), a geometria foi desenvolvida objetivando a implantação de uma segunda pista paralela a existente apresentando nível de serviço com condições adequadas de segurança à demanda do tráfego previsto com boa qualidade em atendimento às recomendações e as normas vigentes do DNIT.

Ainda de acordo com o Relatório Executivo (DNIT, 2014), os Elementos Executivos utilizados na elaboração foram os seguintes:

- Levantamento Topográfico;
- Plantas em arquivos magnéticos resultantes dos Levantamentos de Campo;
- Normas Para Projeto de Estradas de Rodagem do DNIT.

O Projeto Geométrico apresenta em planta e perfil as escalas de 1:2000 (H) e 1:200 (V). Em planta apresenta dois eixos, sendo um para a pista oeste (pista nova), e outro para a pista leste (pista existente), começado pelas estacas E.5000+0,00 e E.10000+0,00 respectivamente, sendo apresentado também o eixo de locação. Apresenta duas seções tipo, um que vai do início do trecho E.0+0,00 até a E.253+0,00 e outra que vai desse ponto até o final do trecho E.3044+8,09.

Portanto, os resultados dos levantamentos topográficos e estudos de campo executados visando a duplicação, com excelente nível de precisão, permitiram o conhecimento das

características do trecho da rodovia em análise, o que serviu de suporte para o estabelecimento dos parâmetros geométricos utilizados no presente trabalho.

## 4.2. Análise da frequência de acidentes

### 4.2.1. Análise dos dados históricos de acidentes

Os dados acerca do histórico de acidentes no trecho correspondente ao estudo foram obtidos diretamente com a Polícia Rodoviária Federal (PRF), na 3ª Delegacia da PRF da cidade de Russas-CE.

Foram fornecidas planilhas com dados estatísticos e tabelas referentes aos acidentes ocorridos na BR 116/CE, km 50 a 113, no período de janeiro de 2014 a junho de 2019, totalizando 692 acidentes, que permitiram a formação da base de dados para o estudo estatístico deste trabalho. Na tabela 4, pode-se conferir a quantidade de acidentes por ano.

Tabela 4: Quantidade de acidentes por ano - janeiro 2014 a junho 2019.

Ano	Acidentes Graves*	Qtd. de Acidentes	Qtd de Ilesos	Qtd. de Feridos Leves	Qtd. de Feridos Graves	Qtd. de Mortos
2014	43	193	352	68	43	17
2015	34	128	221	62	35	8
2016	36	154	233	73	39	11
2017	19	113	175	64	18	5
2018	13	74	117	48	18	7
2019	8	30	47	24	9	3
<b>Totais</b>	<b>153</b>	<b>692</b>	<b>1145</b>	<b>339</b>	<b>162</b>	<b>51</b>

Fonte: Sist. SIGER – PRF (2019).

\*A PRF define Acidentes Graves como ocorrências envolvendo feridos graves e/ou mortos.

### 4.2.2. Extração e filtragem dos dados

Por meio dos dados obtidos através do projeto de duplicação e os dados históricos de acidentes, tornou possível a criação de uma base de dados que reúne todos os parâmetros referentes às suas respectivas curvas horizontais (Tabela 5).

Tabela 5: Base de dados dos parâmetros geométricos das curvas.

Curvas	Número de Acidentes	Raio (m)	Ângulo Central (°)	Desenvolvimento (m)	Superelevação (m)
Curva 1	6	260	34,18	75,124	7,99
Curva 2	5	260	29,9	55,697	7,99
Curva 3	0	5000	0,21	18,249	0,78
Curva 4	2	2300	3,27	131,249	1,64
Curva 5	0	1300	10,85	186,098	2,78
Curva 6	1	900	7,58	59,152	3,83
Curva 7	6	1900	5,36	177,763	1,97
Curva 8	48	1050	25,44	406,306	3,36
Curva 9	17	550	23,5	165,634	5,62
Curva 10	7	870	37,01	501,913	3,94
Curva 11	4	645,1	15,1	170,005	5,00
Curva 12	4	495,1	9,41	81,285	6,04
Curva 13	0	1004,9	7,13	125,115	3,49
Curva 14	12	1500	5,93	95,209	2,44
Curva 15	3	1500	9,75	195,303	2,44
Curva 16	3	1500	3,78	39,047	2,44
Curva 17	2	1700	2,98	28,355	2,18
Curva 18	2	1700	3,08	31,483	2,18
Curva 19	3	850	12,29	122,297	4,01
Curva 20	6	500	34,08	227,415	6
Curva 21	5	224,9	32,98	69,458	7,9
Curva 22	0	275,1	21,87	45,014	7,93
Curva 23	4	352,1	46,72	207,082	7,33
Curva 24	0	395,1	14,18	97,82	6,92

Curva 25	0	395,1	9,83	67,821	6,92
Curva 26	1	284,9	26,91	73,832	7,88
Curva 27	0	245	22,39	95,752	8
Curva 28	0	289,9	26,12	132,161	7,85
Curva 29	1	284,9	35,55	116,796	7,88
Curva 30	1	251,1	49,67	137,662	8
Curva 31	0	1704,9	5,89	175,147	2,17
Curva 32	0	1295,1	10,53	238,029	2,79
Curva 33	0	1304,9	4,86	110,656	2,77
Curva 34	2	569,9	35,48	252,868	5,48
Curva 35	2	510,1	34,45	226,727	5,92
Curva 36	0	1804,9	3,57	112,328	2,06
Curva 37	0	795,1	4,25	58,96	4,24
Curva 38	1	454,9	15,59	123,811	6,38

Fonte: Elaboração do autor com dados do Projeto Executivo de Engenharia e Estudos Ambientais para Duplicação de Segmento na Rodovia BR-116/CE (DNIT, 2004) e dados fornecidos pela 3ª Delegacia da PRF cidade de Russas/CE.

#### 4.2.3. Análise descritiva dos dados

A estatística descritiva foi realizada por meio do *software* Excel, através da ferramenta Análise de Dados, utilizando-se o banco de dados previamente elaborado.

Dessa forma, fez-se a estatística descritiva para cada variável, obtendo-se as seguintes informações estatísticas: média, erro padrão, mediana, moda, desvio padrão, variância da amostra, intervalo, máximo e mínimo, com um nível de confiança de 95,0%. Os resultados para cada variável, estão nas tabelas 6, 7, 8, 9 e 10.

Tabela 6: *Estatística Descritiva do número de acidentes.*

Número de Acidentes	
Média	3,894736842
Erro padrão	1,324777269
Mediana	2
Moda	0
Desvio padrão	8,16647555
Variância da amostra	66,6913229
Intervalo	48
Mínimo	0
Máximo	48
Nível de confiança (95,0%)	2,684253718

Fonte: Elaboração do autor com dados fornecidos pela PRF (2019).

Tabela 7: *Estatística descritiva dos raios.*

Raio (m)	
Média	979,5526316
Erro padrão	144,3807919
Mediana	720,1
Moda	1500
Desvio padrão	890,0229756
Variância da amostra	792140,8972
Intervalo	4775,1
Mínimo	224,9
Máximo	5000
Nível de confiança (95,0%)	292,5432724

Fonte: Elaboração do autor com dados fornecidos pela PRF (2019).

Tabela 8: Estatística descritiva dos desenvolvimentos.

Desenvolvimento (m)	
Média	137,7532368
Erro padrão	16,06087866
Mediana	119,5465
Moda	-
Desvio padrão	99,0059053
Variância da amostra	9802,169285
Intervalo	483,664
Mínimo	18,249
Máximo	501,913
Nível de confiança (95,0%)	32,54243129

Fonte: Elaboração do autor com dados fornecidos pela PRF (2019).

Tabela 9: Estatística descritiva dos ângulos centrais.

Ângulo Central (°)	
Média	17,93868421
Erro padrão	2,236761406
Mediana	13,235
Moda	-
Desvio padrão	13,78832333
Variância da amostra	190,1178604
Intervalo	49,46
Mínimo	0,21
Máximo	49,67
Nível de confiança (95,0%)	4,532109103

Fonte: Elaboração do autor com dados fornecidos pela PRF (2019).

Tabela 10: Estatística descritiva da Superelevação.

Superelevação (%)	
Média	4,856315789
Erro padrão	0,385875337
Mediana	4,62
Moda	2,44
Desvio padrão	2,378695328
Variância da amostra	5,658191465
Intervalo	7,22
Mínimo	0,78
Máximo	8
Nível de confiança (95,0%)	0,781857699

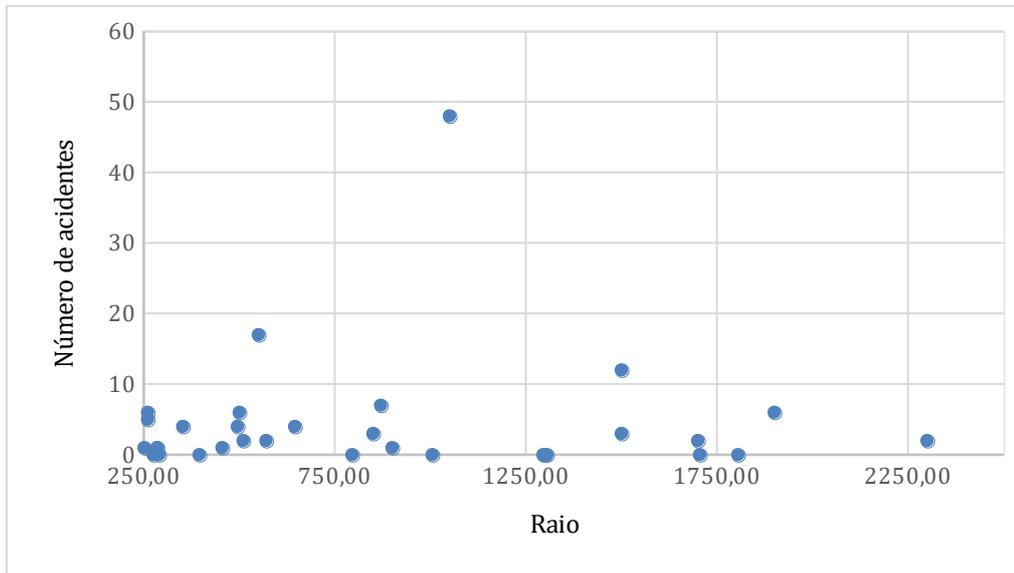
Fonte: Elaboração do autor com dados fornecidos pela PRF (2019).

Observando as tabelas 6, 7, 8, 9 e 10 é possível perceber que a variância das amostras foi alta para todos os parâmetros estudados, sendo indício de que um modelo de Poisson não seria adequado para representar esse conjunto de dados. A distribuição de Poisson é aplicável quando o número de possíveis ocorrências discretas é muito maior do que o número médio de ocorrências em um determinado intervalo de tempo ou espaço, sendo a distribuição de Poisson um caso limite da binomial, que se desenvolve quando o número de tentativas  $n$  aumenta indefinidamente, enquanto o produto  $\lambda=np$ , que é o valor esperado do número de sucessos das tentativas, permanece constante. Sendo assim, a partir da análise descritiva dos dados, optou-se por um modelo Binomial Negativo para modelagem da frequência de acidentes.

Um dispositivo bastante útil para se verificar a associação entre duas variáveis quantitativas, ou entre dois conjuntos de dados, é o gráfico de dispersão (Morettin, 2013). A seguir, apresenta-se os gráficos de dispersão que mostram a associação das variáveis raio, ângulo, desenvolvimento e superelevação ao número de acidentes (Gráficos 1, 2, 3 e 4).

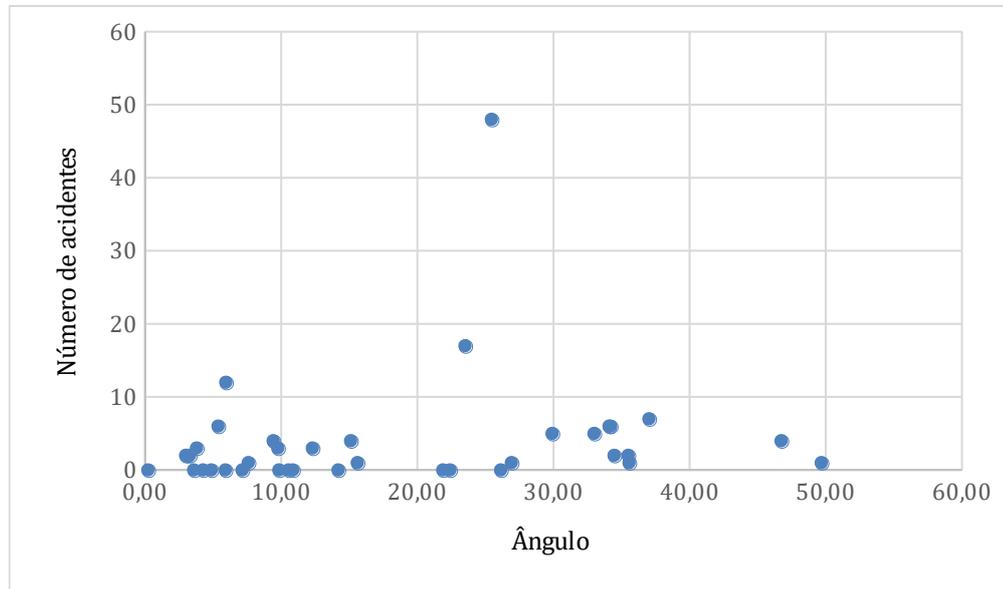
É possível observar, portanto, que os Gráficos de dispersão que relacionam o número de acidentes ao raio e o número de acidentes ao ângulo, parecem não apresentar uma associação clara e direta entre as variáveis, haja vista que os pontos não apresentam nenhuma tendência particular.

Gráfico 1: Gráfico de dispersão para a variável X: raio e Y: número de acidentes.



Fonte: Elaboração do autor (2019).

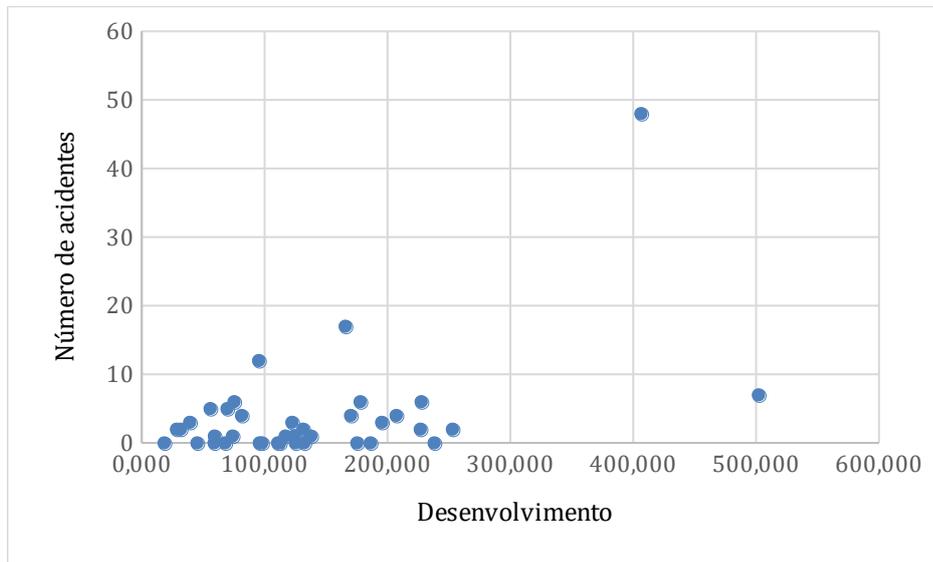
Gráfico 2: Gráfico de dispersão para a variável X: ângulo e Y: número de acidentes.



Fonte: Elaboração do autor (2019).

Diferentemente dos gráficos de dispersão anteriores, o Gráfico 3 que associa desenvolvimento e número de acidentes, apresenta uma leve tendência linear, ainda que não totalmente. Mas nota-se que há uma pequena tendência de aumentar o número de acidentes à medida que se eleva o desenvolvimento, todavia, há pontos discrepantes à tendência.

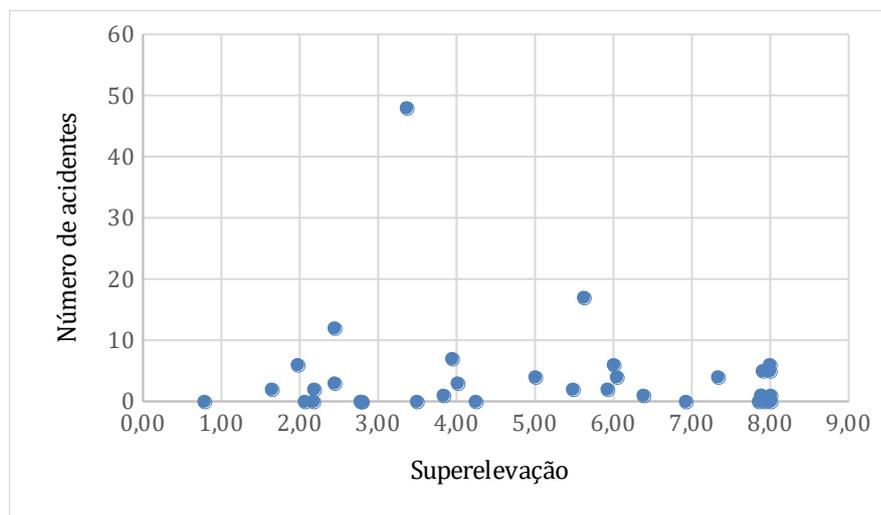
Gráfico 3: Gráfico de dispersão para a variável X: desenvolvimento e Y: número de acidentes.



Fonte: Elaboração do autor (2019).

Novamente, não se pode estabelecer uma associação entre as variáveis do Gráfico 4, que desta vez, se trata da superelevação e o número de acidentes. A representação gráfica das variáveis quantitativas apresentada, através dos gráficos de dispersão, auxilia muito na compreensão do comportamento conjunto de duas variáveis, quanto à existência ou não de associação entre elas, todavia, não quantifica essa associação. Portanto, é essencial utilizar de métodos que permitam quantificar possíveis correlações existentes entre as variáveis.

Gráfico 4: Gráfico de dispersão para a variável X: superelevação e Y: número de acidentes.



Fonte: Elaboração do autor (2019).

#### 4.2.4. Modelo de frequência de acidentes

Sendo a variável dependente o número de acidentes, as variáveis independentes são: o raio, o desenvolvimento, o ângulo central e a superelevação. Dessa forma, foi verificado se as variáveis independentes eram bem correlacionadas com a variável resposta e pouco correlacionadas entre si, para assim, analisar se essas variáveis poderiam ser incluídas no modelo de frequência de acidentes.

Os coeficientes de correlação ( $r$ ) apresentados na matriz de correlação das variáveis (Tabela 11) variam de +1 a -1 sendo mais forte a correlação quanto mais próximo de 1 for o valor de  $r$ .

Tabela 11: *Matriz de correlação das variáveis.*

Parâmetros	Número de Acidentes	Raio (m)	Ângulo Central (°)	Desenvolvimento (m)
Número de Acidentes	1	-0,035304077	0,169994749	0,496414137
Raio (m)	-0,035304077	1	-0,624555311	-0,119558546
Ângulo Central (°)	0,169994749	-0,624555311	1	0,401518183
Desenvolvimento (m)	0,496414137	-0,119558546	0,401518183	1

Fonte: Elaboração do autor (2019).

Após uma análise descritiva realizada nos dados, na modelagem estatística, decidiu-se pelo uso do modelo Binomial Negativa em que, a princípio, assumiu-se a parte sistemática apresentada na equação 2.

$$\log(E[Y_i]) = \beta_0 + \beta_1 A_i + \beta_2 R_i + \beta_3 S_i + \beta_4 A_i \times R_i + \beta_5 S_i \times R_i \quad (2)$$

Onde,

**Y<sub>i</sub>**: Número de acidentes nas curvas

**A**: Ângulo central

**R**: Raio

**S**: Superelevação

**A x R**: Desenvolvimento

para  $i = 1, 2, \dots, n$ .

As interações “ $A_i \times R_i$ ” e “ $S_i \times R_i$ ” foram consideradas no modelo inicial devido a relação existente entre o Raio e as variáveis Ângulo e Superelevação.

A partir desse modelo inicial com todas as variáveis e interações, foi realizada uma seleção para decidir quais variáveis deveriam permanecer no modelo. Para isso usou-se o método *stepwise*, de acordo com Yan e Su (2009) em que variáveis e interações são incluídas e excluídas do modelo para se obter um critério para comparação de todos os submodelos obtido a partir do modelo inicial com todas as variáveis e interações.

O critério de seleção utilizado no *stepwise* foi Critério de Informação de Akaike (AIC), de acordo com Yan e Su (2013). Após a aplicação do método *stepwise*, chegou-se no modelo com a parte sistemática apresentada na equação 3.

$$\log(E[Y]_i) = \beta_0 + \beta_1 A_i + \beta_2 R_i + \beta_3 A_i \times R_i \quad (3)$$

para  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Onde os valores de  $\beta$  e os P-valor, para atestar sobre a significância da variável estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Coeficientes do modelo de frequência de acidentes.

	Estimate	Std. Error	Pr(> z )
Intercept	1,9841	0,3482	1,21e-08
R	1,8782	0,6195	0,002430
A	1,5763	0,4336	0,000278
R x A	1,6197	0,4984	0,001154

Fonte: Elaboração do Autor (2019).

Observa-se que a superelevação foi retirada do modelo, assim como a interação “ $S_i \times R_i$ ”. Além de terem sido excluídas do modelo pelo método *stepwise*, a variável Superelevação e sua interação com o Raio não foram significativas no teste realizado usando os testes individuais de significância, observou-se p-valor acima 0,2 para ambos os casos, conforme Yan e Su (2009).

Após a seleção de variáveis, uma análise de resíduos (diferenças entre os valores ajustados pelo modelo e os observados, que na sua forma original é chamado de resíduo ordinário) foi realizada para verificar se o submodelo escolhido pelo método *stepwise* fornece um bom ajuste aos dados.

Em geral, modelos bem ajustados devem apresentar resíduos pequenos, enquanto modelos mal ajustados apresentam grandes resíduos. Para o modelo utilizado aqui, os resíduos ordinários, em geral, não têm variância constante, o que torna difícil sua interpretação.

Neste caso, pode-se utilizar o resíduo *Studentizados* que, caso o modelo de regressão esteja bem ajustado, têm todos a mesma variância, são normalmente distribuídos e apresentam homoscedasticidade (variância constante). Se uma observação apresenta um resíduo Studentizados maior que 2 ou menor que -2 esta é considerada como um ponto atípico ou mal ajustado.

A Tabela 12 mostra as estimativas para os coeficientes do modelo final, assim como também mostra os valores de p para os testes individuais de significância e o erro padrão do estimador. Nesta tabela pode-se observar os valores de p abaixo de 0,005, mostrando que, para níveis superiores a 95%, as variáveis incluídas no modelo são significativas no modelo ajustado.

Dessa forma, a hipótese inicial adotada no modelo era de que os coeficientes  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3 = 0$ , ou seja, os parâmetros geométricos das rodovias que correspondessem a determinado coeficiente  $\beta$ , não teriam significância alguma para o modelo, o que implicaria em não influenciar nos valores da variável  $Y_i$  Número de acidente.

Contudo, como pode-se observar na Tabela 12, os valores dos coeficientes são  $\beta_i \neq 0$  e  $\beta_i > 0$  ( $i = 0, 1, 2, 3$ ), ou seja, os parâmetros Ângulo, Raio e Interação Ângulo x Raio (Desenvolvimento), não apenas influenciam no modelo, como influenciam de forma positiva para o número de acidentes, isso significa que à medida que esses parâmetros das curvas aumentam, aumenta também a frequência de acidentes. Por fim, chega-se a equação 4.

$$\log(E[Y]_i) = 1,98 + 1,88 A_i + 1,57 R_i + 1,62 A_i \times R_i \quad (4)$$

Os resultados obtidos mostraram que as variáveis ângulo, raio e interação ângulo x raio (desenvolvimento) influenciam significativamente na frequência de acidentes, e são



representa o percurso que o veículo percorre na curva horizontal. Apesar disso, um maior Desenvolvimento pode significar maior Raio, maior Ângulo Central ou ambos.

No entanto, deve ser lavado em consideração que outros fatores podem ter causados os acidentes no trecho estudado, como, por exemplo, o estado de conservação das rodovias. De acordo com a pesquisa da Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2019), 59% dos trechos rodoviários analisados apresentaram problemas, representando um aumento em relação a 2018, onde o percentual foi 57%. Além disso, 52,4% dos pavimentos apresentaram defeitos, 48,1% dos trechos analisados apresentaram problemas de sinalização e 76,3% apresentaram inadequações na geometria da via.

Ainda de acordo com CNT (2019) o número de pontos críticos identificados ao longo dos 108.863 quilômetros pesquisados aumentou 75,6% em relação a 2018, sendo identificados 797 trechos com pontos críticos. São considerados pontos críticos: quedas de barreira, pontes caídas, erosões na pista e buracos grandes. Essas situações atípicas ocorrem ao longo da via e podem trazer graves riscos à segurança dos usuários.

Outro fato relevante é a apresentação da interação raio x ângulo central no modelo binomial negativo, devendo ter um estudo mais aprofundado dessa interação, utilizando métodos estatísticos apropriados, além da melhor investigação da forte correlação entre as variáveis explicativas para interpretação do modelo de frequência de acidentes rodoviários.

Sendo assim, de acordo com os resultados obtidos aqui, como diretriz geral de projeto geométrico de rodovia, deve-se limitar os valores dos parâmetros analisados, de modo a não ter desenvolvimentos com curvaturas muito longas, o que pode afetar, por exemplo, a visibilidade nos trechos em curva e o conforto para os usuários.

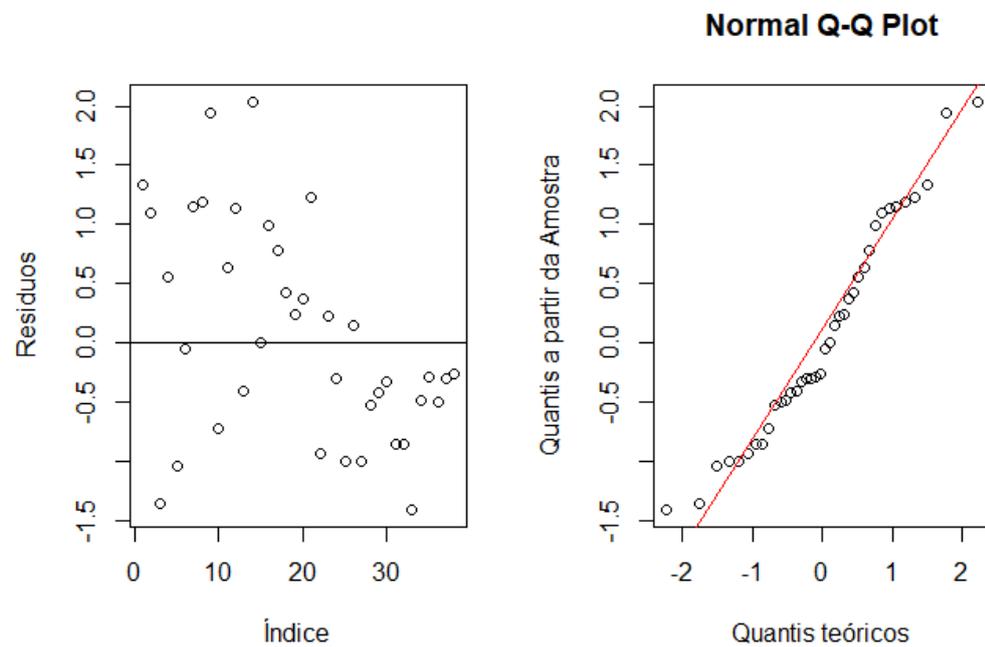
#### **4.2.5. Qualidade do ajuste**

Para que se tenha uma ideia da qualidade do ajuste do modelo, foram construídos gráficos de resíduos e gráficos de influência das variáveis no modelo, de acordo Venables e Ripley (2013). A Figura 8, no gráfico à esquerda, nota-se que os resíduos *Studentizados* se distribuem em torno de 0 em uma faixa que vai de -2 até aproximadamente 2, não mostrando evidências para a existência de pontos atípicos ou mal ajustados.

No gráfico a direita da Figura 9 é apresentado o gráfico das probabilidades normais com uma reta unindo os pontos formados pelo primeiro e terceiro quartis dos resíduos e da

distribuição normal padrão. A partir deste gráfico é possível notar que os pontos estão dispersos próximo a reta, fornecendo evidências de que os resíduos se aproximam da normalidade.

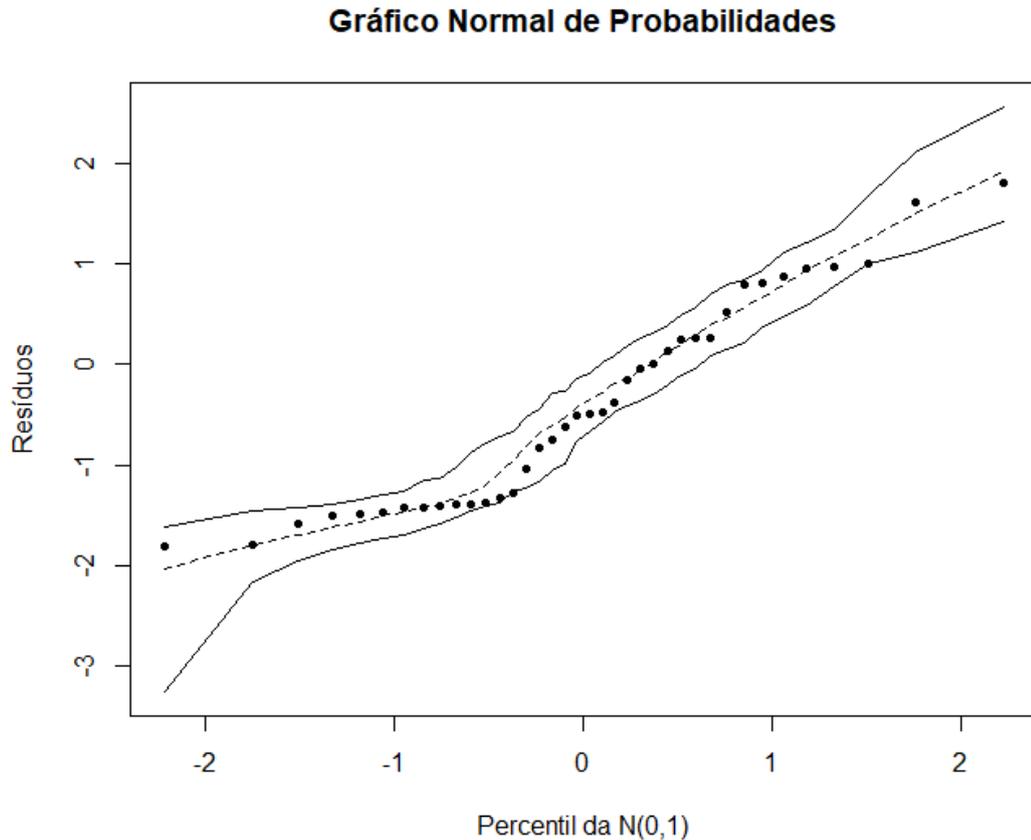
Figura 9: Gráfico dos resíduos studentizados à esquerda e gráfico das probabilidades normais à direita.



Fonte: Elaboração do autor (2019).

Para melhorar a interpretação dos resíduos, um gráfico envelope foi construído e é apresentado na Figura 10.

Figura 10: Gráfico normal de probabilidades com envelope simulado.

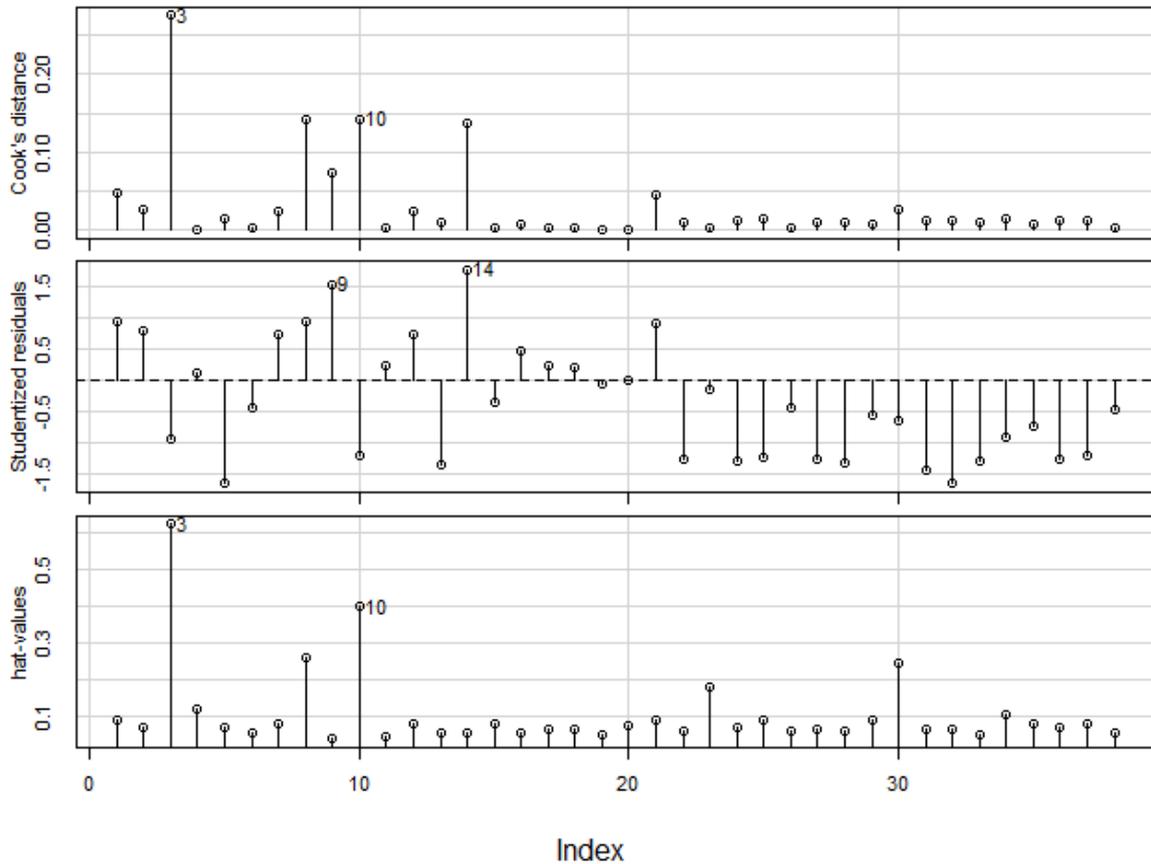


Fonte: Elaboração do autor (2019).

Quando a distribuição utilizada no modelo de regressão é diferente da normal, os gráficos envelopes são construídos gerando os resíduos a partir do modelo ajustado. Uma indicação de adequação do modelo é mostrada se os pontos estiverem todos dentro da banda de confiança formada pelas duas linhas construídas, situação que pode ser observada na Figura 9.

A Figura 10 apresenta, em primeiro lugar, os valores das distâncias de Cook (Yan e Su, 2009) para cada valor observado. Esta é uma medida da diferença das estimativas dos parâmetros quando uma particular observação é considerada e desconsiderada no ajuste do modelo. Em seguida, na mesma figura, é mostrado o gráfico de resíduos *studentizados* (aleatorizado), em que pode-se observar, como visto na Figura 8, que os pontos estão dispersos entre 2 e -2.

Figura 11: Medidas de Influência.



Fonte: Elaboração do Autor (2019).

O gráfico da Figura 10 mostra os valores que tem potencial para serem de influência do modelo, obtidos a partir da diagonal da matriz de projeção  $H$ , conhecida como “Matriz Chapéu”. Esses valores estão sempre entre 0 e 1, e quanto mais próximos de 1 maior é a influência que o mesmo exerce no ajuste do modelo. Esses 3 gráficos fornecem evidências de que *outliers* ou observações influentes não aparecem de forma significativa.

Todas as análises aqui apresentadas foram implementadas no *software* R utilizando os pacotes descritos em Venables e Ripley (2013) e Friendly e Meyer (2015).

### 4.3. Análise da severidade dos acidentes

No trecho da BR-116 analisado nesse estudo foram observados, no período de janeiro de 2014 a junho de 2019 um total de 692 registros de acidentes. Desse total de acidentes ocorridos nesse período, 151 acidentes ocorreram em curvas – sendo que o trecho possui 38 curvas no total – o que equivale a 21,82% do total de acidentes, uma quantidade significativamente alta dos acidentes. Destes 151 acidentes que ocorreram nas curvas, 43 classificaram-se como acidentes graves, o que equivale a 28,47%. Na Tabela 13 está apresentado um resumo quantitativo dos acidentes de acordo com sua severidade.

Tabela 13: *Quantitativo da severidade dos acidentes.*

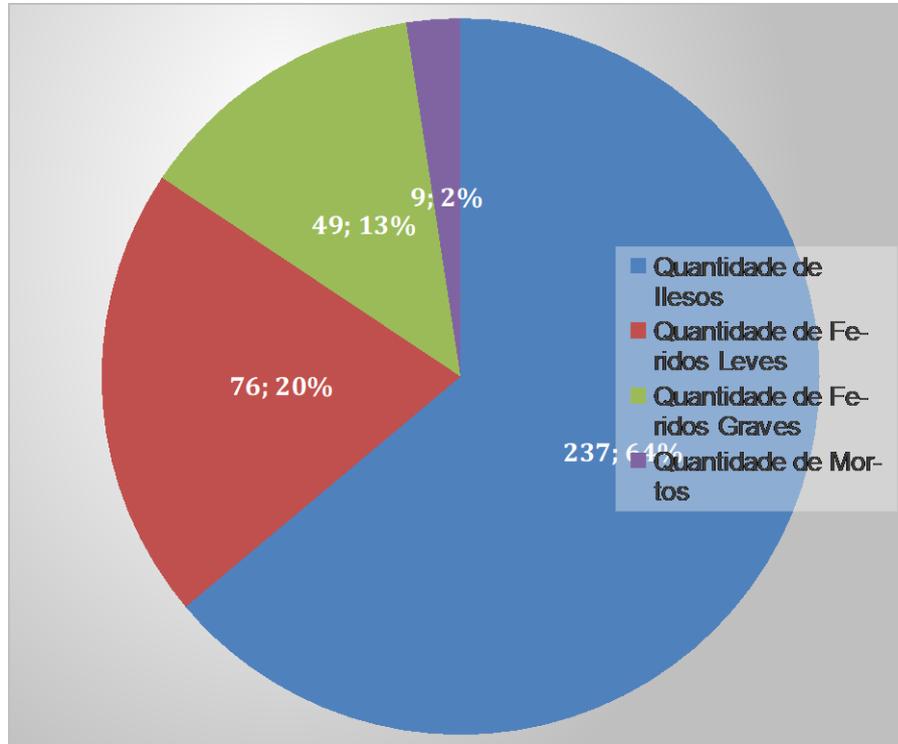
Quantidade de Ocorrência	151
Quantidade de Acidentes Graves	43
Quantidade de Ilesos	237
Quantidade de Feridos Leves	76
Quantidade de Feridos Graves	49
Quantidade de Mortos	9

Fonte: Elaboração do autor com dados fornecidos pela PRF (2019).

Dessa forma, de 151 ocorrências de acidentes registradas em curvas no trecho em estudo, houve um total de 134 pessoas afetadas (entre feridos leves, graves ou fatalidade) e 237 pessoas que saíram ilesas.

O Gráfico 5 mostra em termos percentuais a severidade dos acidentes, quanto ao estado físico das pessoas envolvidas.

Gráfico 5: Percentual da severidade dos acidentes quanto ao estado físico das pessoas envolvidas nos acidentes.



Fonte: Elaboração do autor (2019).

A partir do Gráfico 5, pode-se inferir que o número de pessoas que são afetadas é muito elevado e o quão severos podem ser os acidentes em rodovias. Do total de pessoas envolvidas neste estudo, cerca de 64% saíram fisicamente ilesas, 20% com ferimentos leves, 13% feridos gravemente e 2% chegaram ao óbito. Informações adicionais sobre os acidentes ocorridos no trecho estudado podem ser visualizados nos Anexos A, B, C e D.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou analisar o impacto dos parâmetros geométricos das curvas de rodovias na frequência de acidentes rodoviários e a sua severidade. Após a análise descritiva dos dados, e dos gráficos de dispersão, estimou-se o modelo de regressão Binomial Negativo (BN) a ser utilizado no tratamento dos dados. Os parâmetros analisados inicialmente foram Ângulo Central, Raio, Desenvolvimento e Superelevação.

Para a análise estatística dos dados foram usados os *softwares* R e R *Studio* e o *software* Excel ®. A partir desse modelo inicial com todas as variáveis e interações, foi realizada uma seleção para decidir quais variáveis deveriam permanecer no modelo. Para isso usou-se o método *stepwise*, de acordo com Yan e Su (2009).

Os resultados obtidos mostraram que as variáveis ângulo, raio e interação ângulo x raio (desenvolvimento) influenciam significativamente na frequência de acidentes, e são variáveis que estão muito correlacionadas. Os resultados obtidos corroboram com os resultados da literatura, onde o aumento da curvatura pode aumentar a frequência de acidentes e o desenvolvimento influencia de forma significativa, de modo que, quando aumentar o desenvolvimento da curva, aumenta também a probabilidade de ocorrência de acidentes.

Por meio da análise quantitativa da severidade, mostrou-se que uma parte consideravelmente grande dos acidentes ocorrem nos trechos curvos horizontais, o que comprova a urgência de atenção para este problema, que é o intuito deste trabalho.

Para estudos futuros, recomenda-se testar outros modelos estatísticos, a inclusão de outros parâmetros não mencionados, como declividade, superlargura, variáveis humanas, como velocidade incompatível, um estudo mais aprofundado na severidade, assim como realizar uma análise em trechos maiores, para se ter uma amostra maior de dados sobre acidentes. Recomenda-se ainda aprofundar os estudos em modelos estatísticos envolvendo interações entre variáveis e aprofundar a interpretação dos resultados, levando em consideração a correlação entre as variáveis explicativas.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10697/1989.

ANDRIOLA, C. L.; TORRES, T. B.; GARCÍA, D. S. P. **Influência dos parâmetros geométricos de rodovias na frequência e severidade de acidentes viários em curvas: o caso da BR-116.** Revista Transportes. 14 p. 2019.

CNT – Confederação Nacional dos Transportes. **Acidentes rodoviários e infraestrutura.** Brasília, 2018.

CNT – Confederação Nacional dos Transportes. **Pesquisa CNT de Rodovias.** Brasília, 2019.

CONTRAN. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito.** Brasília: 2007.

CONTRAN. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Sinalização Horizontal.** Brasília, 2007.

CONTRAN. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Sinalização Vertical de Advertência.** Brasília 2007.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Projeto executivo de engenharia e estudos ambientais para duplicação de segmento na rodovia BR-116/CE.** Recife, 2014.

FERRAZ, A. C. P. et al. **Segurança Viária.** São Carlos, SP. Suprema Gráfica e Editora, 2012.

FRIENDLY, Michael; MEYER, David. *Discrete data analysis with R: visualization and modeling techniques for categorical and count data.* Chapman and Hall/CRC, 2015.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Rodovias Brasileiras.** Brasília, 2006.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada; DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito; ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras – relatório executivo.** Brasília: Ipea, Denatran e ANTP, 2006. Disponível em: <http://goo.gl/q5oVrr>. Acesso em: 28 jun. 2019.

IPEA – Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas. **Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Rodovias Brasileiras.** Brasília, 2006.

LEAL, B. A. B. **Análise da relação das características das rodovias e vias urbanas com as causas de acidentes.** Monografia. Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014. 120f.

Ministério da Saúde. Sistema de Informações de Mortes - Datasus. **Mortes por causas externas no ano de 2016.** Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sim/cnv/ext10uf.def>. Acesso em: 26 jun. 2019.

MORETIIN, Pedro Alberto; BUSSAB, Wilton de O. **Estatística Básica.** Editora Saraiva. 8.ed. São Paulo, 2013.

PONTES FILHO, Glauco. **Estradas de rodagem: projeto geométrico.** São Carlos, 1998.

RITTER, Matias do Nascimento. **Introdução ao software estatístico R.** Imbé, RS. 2019.

TREAT, J.R., Tumbas, N.S., McDonald, S.T., Shinar, D., Hume, R.D., Mayer, R.E., Stanisfer, R.L., and Castellan, N.J. **Tri-Level Study of the Causes of Traffic Accidents.** Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration. 1979.

WHO – World Health Organization. **The top 10 causes of death, 2018.** Disponível em: <https://www.who.int/health-topics/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>. Acesso em: 31 jul. 2019.

WHO – World Health Organization. **World Report on Road Traffic Injury Prevention.** Geneva, 2004. Disponível em: [https://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/publications/road\\_traffic/world\\_report/en/](https://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/world_report/en/). Acesso em: 1 ago. 2019.

WHO – World Health Organization. **Saving Millions of lives: Decade of Action for Road Safety 2011-2020.** Disponível em: [https://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/publications/road\\_traffic/saving\\_millions\\_lives\\_en.pdf?ua=1](https://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/saving_millions_lives_en.pdf?ua=1). Acesso em: 15 nov. 2019.

VENABLES, William N.; RIPLEY, Brian D. **Modern applied statistics with S-PLUS.** Springer Science & Business Media, 2013.

YAN, Xin; SU, Xiaogang. **Linear regression analysis: theory and computing.** World Scientific, 2009.

**ANEXO A – BR 116/CE – KM 50 ao 113 - ACIDENTES GRAVES CLASSIFICADOS  
POR INTERVALOS DE 2 KM – JANEIRO DE 2014 A JUNHO 2019.**

Intervalo de km	2014	2015	2016	2017	2018	2019
50-52	0	3	3	0	1	1
52-54	3	0	2	0	0	0
54-56	2	1	0	2	0	3
56-58	3	2	3	2	2	1
58-60	2	0	0	0	0	0
60-62	1	1	3	1	2	0
62-64	1	2	0	3	0	1
64-66	10	7	3	4	1	1
66-68	4	1	8	1	1	1
68-70	5	7	5	0	1	0
70-72	1	0	1	0	0	0
72-74	0	1	0	1	0	0
74-76	1	1	1	0	0	0
76-78	1	1	0	0	0	0
78-80	0	0	0	1	1	0
80-82	2	0	0	0	0	0
82-84	1	0	2	0	2	0
84-86	0	1	0	0	0	0
86-88	0	0	0	1	1	0
88-90	0	2	1	0	0	0
90-92	0	0	0	1	0	0
92-94	4	0	1	1	0	0
94-96	0	0	1	0	1	0
96-98	0	2	0	0	0	0
98-100	0	0	1	0	0	0
100-102	1	0	0	0	0	0
102-104	1	0	0	0	0	0
104-106	0	1	0	0	0	0
106-108	0	1	1	0	0	0
108-110	0	0	0	0	0	0
110-112	0	0	0	0	0	0
112-114	0	0	0	1	0	0
<b>Totais</b>	<b>43</b>	<b>34</b>	<b>36</b>	<b>19</b>	<b>13</b>	<b>8</b>
Fonte: Sist. SIGER – PRF (2019)						

**ANEXO B – BR 116/CE - KM 50 ao 113 - ACIDENTES GRAVES CLASSIFICADOS  
POR TIPO – JANEIRO DE 2014 A JUNHO 2019.**

Acidentes Graves	Ano					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Atropelamento de animal	0	0	2	1	0	0
Atropelamento de Pedestre	0	0	0	2	2	0
Atropelamento de pessoa	4	2	2	0	0	0
Capotamento	1	0	0	0	0	1
Colisão com bicicleta	0	2	3	0	0	0
Colisão com objeto em movimento	0	0	0	0	2	0
Colisão com objeto estático	0	0	0	1	0	0
Colisão com objeto fixo	0	0	1	0	0	0
Colisão com objeto móvel	0	0	0	0	0	0
Colisão frontal	6	10	4	6	4	6
Colisão lateral	5	3	1	1	1	0
Colisão Transversal	15	10	8	4	1	1
Colisão traseira	5	0	6	2	1	0
Danos Eventuais	0	0	0	0	0	0
Derramamento de Carga	0	0	0	0	0	0
Engavetamento	0	0	0	0	1	0
Incêndio	0	0	0	0	0	0
Queda de motocicleta / bicicleta / veículo	3	5	5	0	0	0
Queda de ocupante de veículo	0	0	0	1	1	0
Saída de leito carroçável	0	0	0	1	0	0
Saída de Pista	3	1	3	0	0	0
Tombamento	1	1	1	0	0	0
Totais	43	34	36	19	13	8

Fonte: Sist. SIGER – PRF (2019)

**ANEXO C – BR 116/CE - KM 50 ao 113 - ACIDENTES GRAVES CLASSIFICADOS  
PELA CAUSA – JANEIRO DE 2014 A JUNHO 2019.**

Acidentes Graves	Ano					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Causa Acidente						
Agressão Externa	0	0	0	0	0	0
Animais na Pista	0	0	1	2	0	0
Avarias e/ou desgaste excessivo no pneu	0	0	0	0	0	0
Condutor Dormindo	0	0	0	3	1	0
Defeito Mecânico no Veículo	0	0	1	1	2	0
Defeito na via	0	5	0	0	0	1
Desobediência às normas de trânsito pelo condutor	7	8	6	0	1	4
Dormindo	3	2	2	0	0	0
Falta de Atenção à Condução	16	9	9	5	6	1
Falta de Atenção do Pedestre	0	0	0	1	1	0
Ingestão de álcool	4	4	4	2	0	0
Mal Súbito	0	0	0	0	0	0
Não guardar distância de segurança	3	0	3	1	0	0
Objeto estático sobre o leito carroçável	0	0	0	0	0	0
Outras	6	2	7	0	0	0
Pista Escorregadia	0	0	0	0	0	0
Restrição de Visibilidade	0	0	0	0	0	0
Ultrapassagem indevida	4	3	3	3	1	2
Velocidade incompatível	0	1	0	1	1	0
Totais	43	34	36	19	13	8
Fonte: Sist. SIGER – PRF (2019)						

**ANEXO D – BR 116/CE - KM 50 ao 113 - ACIDENTES GRAVES CLASSIFICADOS  
POR TIPO DE VEÍCULO – JANEIRO DE 2014 A JUNHO 2019.**

Ano	Tipo Veículo	Acidentes	Acidentes Graves	Ilesos	Feridos Leves	Feridos Graves	Mortos
2014	Automóvel	43,64%	25,53%	47,16%	44,12%	34,88%	17,65%
	Caminhão	10,65%	6,38%	11,08%	2,94%	6,98%	0,00%
	Caminhão-Trator	13,25%	0,00%	13,92%	5,88%	0,00%	0,00%
	Caminhonete	10,65%	4,26%	15,91%	5,88%	6,98%	0,00%
	Camioneta	2,34%	0,00%	5,11%	0,00%	0,00%	0,00%
	Carroça	0,52%	4,26%	0,00%	0,00%	2,33%	5,88%
	Ciclomotor	1,30%	4,26%	0,57%	2,94%	2,33%	5,88%
	Microônibus	0,78%	0,00%	1,42%	0,00%	0,00%	0,00%
	Motocicletas	10,39%	44,68%	1,14%	32,35%	39,53%	58,82%
	Não identificado	1,30%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Não se Aplica	1,56%	8,51%	0,28%	1,47%	4,65%	11,76%
	Ônibus	1,30%	0,00%	1,14%	4,41%	0,00%	0,00%
	Reboque	0,26%	0,00%	0,28%	0,00%	0,00%	0,00%
	Semi-Reboque	0,78%	0,00%	0,85%	0,00%	0,00%	0,00%
Utilitário	1,30%	2,13%	1,14%	0,00%	2,33%	0,00%	
2014 Total		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
2015	Automóvel	46,64%	29,73%	54,30%	46,77%	34,29%	12,50%
	Bicicleta	0,84%	5,41%	0,00%	0,00%	5,71%	0,00%
	Caminhão	11,76%	2,70%	15,84%	6,45%	0,00%	25,00%
	Caminhão-Trator	8,82%	2,70%	8,14%	6,45%	2,86%	0,00%
	Caminhonete	7,56%	5,41%	11,76%	4,84%	8,57%	12,50%
	Camioneta	3,36%	0,00%	4,07%	0,00%	0,00%	0,00%
	Ciclomotor	1,68%	8,11%	0,00%	1,61%	5,71%	12,50%
	Microônibus	0,42%	0,00%	0,45%	0,00%	0,00%	0,00%
	Motocicletas	11,76%	35,14%	1,81%	30,65%	31,43%	37,50%
	Motoneta	1,26%	5,41%	0,00%	3,23%	5,71%	0,00%
	Não identificado	1,26%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Não se Aplica	0,84%	5,41%	0,00%	0,00%	5,71%	0,00%
	Ônibus	1,68%	0,00%	1,81%	0,00%	0,00%	0,00%
	Semi-Reboque	0,42%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Utilitário	1,68%	0,00%	1,81%	0,00%	0,00%	0,00%	
2015 Total		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
2016	Automóvel	34,31%	24,39%	42,92%	31,51%	33,33%	27,27%
	Bicicleta	1,82%	4,88%	0,00%	4,11%	2,56%	9,09%
	Caminhão	15,69%	4,88%	18,03%	2,74%	5,13%	0,00%
	Caminhão-Trator	13,50%	0,00%	14,16%	5,48%	0,00%	0,00%
	Caminhonete	10,58%	7,32%	12,45%	6,85%	7,69%	0,00%
	Camioneta	1,82%	2,44%	2,58%	5,48%	0,00%	9,09%
	Ciclomotor	2,55%	12,20%	0,43%	4,11%	12,82%	9,09%

	Microônibus	1,09%	0,00%	0,86%	6,85%	0,00%	0,00%
	Motocicletas	9,12%	31,71%	1,72%	21,92%	33,33%	18,18%
	Motoneta	2,55%	4,88%	0,43%	6,85%	2,56%	9,09%
	Não identificado	1,82%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Não Informado	0,73%	0,00%	2,58%	0,00%	0,00%	0,00%
	Não se Aplica	1,82%	7,32%	0,43%	1,37%	2,56%	18,18%
	Ônibus	1,46%	0,00%	1,72%	2,74%	0,00%	0,00%
	Utilitário	1,09%	0,00%	1,72%	0,00%	0,00%	0,00%
2016 Total		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
2017	Automóvel	32,29%	10,00%	47,13%	40,63%	16,67%	40,00%
	Bicicleta	1,79%	5,00%	0,57%	3,13%	5,56%	0,00%
	Caminhão	12,11%	30,00%	13,22%	9,38%	22,22%	40,00%
	Caminhão-Trator	10,76%	5,00%	12,07%	1,56%	5,56%	0,00%
	Caminhonete	10,31%	0,00%	14,37%	4,69%	0,00%	0,00%
	Camioneta	1,35%	0,00%	4,02%	0,00%	0,00%	0,00%
	Carroça-charrete	0,45%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Ciclomotor	0,90%	5,00%	0,00%	1,56%	5,56%	0,00%
	Micro-ônibus	0,45%	0,00%	0,57%	0,00%	0,00%	0,00%
	Motocicleta	13,00%	45,00%	1,15%	34,38%	44,44%	20,00%
	Motoneta	0,90%	0,00%	0,00%	3,13%	0,00%	0,00%
	Ônibus	2,69%	0,00%	2,87%	0,00%	0,00%	0,00%
	Outros	0,90%	0,00%	0,00%	1,56%	0,00%	0,00%
	Reboque	0,90%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Semireboque	8,97%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Trator misto	0,45%	0,00%	0,57%	0,00%	0,00%	0,00%	
Utilitário	1,79%	0,00%	3,45%	0,00%	0,00%	0,00%	
2017 Total		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
2018	Automóvel	25,48%	37,50%	36,44%	29,17%	44,44%	50,00%
	Bicicleta	1,27%	0,00%	0,00%	4,17%	0,00%	0,00%
	Caminhão	17,83%	12,50%	20,34%	8,33%	16,67%	0,00%
	Caminhão-Trator	15,29%	6,25%	19,49%	4,17%	0,00%	12,50%
	Caminhonete	9,55%	6,25%	17,80%	8,33%	11,11%	12,50%
	Camioneta	1,27%	0,00%	0,85%	0,00%	0,00%	0,00%
	Ciclomotor	1,27%	6,25%	0,00%	4,17%	0,00%	12,50%
	Motocicleta	10,19%	18,75%	0,00%	39,58%	22,22%	0,00%
	Motoneta	0,64%	6,25%	0,00%	2,08%	5,56%	0,00%
	Ônibus	1,91%	0,00%	2,54%	0,00%	0,00%	0,00%
	Semireboque	13,38%	6,25%	0,00%	0,00%	0,00%	12,50%
Utilitário	1,91%	0,00%	2,54%	0,00%	0,00%	0,00%	
2018 Total		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
2019	Automóvel	18,46%	0,00%	31,91%	37,50%	0,00%	0,00%
	Caminhão	13,85%	22,22%	25,53%	8,33%	33,33%	66,67%
	Caminhão-Trator	18,46%	22,22%	19,15%	8,33%	22,22%	0,00%
	Caminhonete	7,69%	11,11%	8,51%	16,67%	11,11%	0,00%
	Camioneta	4,62%	0,00%	10,64%	0,00%	0,00%	0,00%

