

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**IMPACTO DOS CONTROLADORES ELETRÔNICOS DE  
VELOCIDADE NA REDUÇÃO DO NÚMERO E DA GRAVIDADE DE  
ACIDENTES DE TRÂNSITO COM VÍTIMAS EM TRECHOS DE  
RODOVIAS FEDERAIS**

**ELAYNE BARBOSA DOS SANTOS**

**ORIENTADORA: Dra. MICHELLE ANDRADE**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES**

**PUBLICAÇÃO: T.DM-006/2019  
BRASÍLIA/DF: ABRIL/2019**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**IMPACTO DOS CONTROLADORES ELETRÔNICOS DE  
VELOCIDADE NA REDUÇÃO DO NÚMERO E DA GRAVIDADE DE  
ACIDENTES DE TRÂNSITO COM VÍTIMAS EM TRECHOS DE  
RODOVIAS FEDERAIS**

**ELAYNE BARBOSA DOS SANTOS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TRANSPORTES DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TRANSPORTES.**

**APROVADA POR:**

---

**MICHELLE ANDRADE, Dra. (UnB)  
(ORIENTADORA)**

---

**ALAN RICARDO DA SILVA, Dr. (UnB).  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**MÔNICA SOARES VELLOSO, Dra. (UniCEUB)  
(EXAMINADORA EXTERNO)**

**BRASÍLIA/DF, 12 de ABRIL de 2019.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

DOS SANTOS, ELAYNE BARBOSA	
Impacto dos Controladores Eletrônicos de Velocidade na Redução do Número e da Gravidade de Acidentes de Trânsito com Vítimas em Trechos de Rodovias Federais. [Distrito Federal] 2019.	
xvii, 101p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2019).	
Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.	
1. Segurança Viária	2. Fiscalização Eletrônica de Velocidade
3. Controladores Eletrônicos de Velocidade	4. Medidores de Velocidade
I. ENC/FT/UnB	II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DOS SANTOS, E. B. (2019). Impacto dos Controladores Eletrônicos de Velocidade na Redução do Número e da Gravidade de Acidentes de Trânsito com Vítimas em Trechos de Rodovias Federais. Publicação T.DM-006/2019. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 101p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Elayne Barbosa dos Santos

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Impacto dos Controladores Eletrônicos de Velocidade na Redução do Número e da Gravidade de Acidentes de Trânsito com Vítimas em Trechos de Rodovias Federais.

GRAU: Mestre

ANO: 2019

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Elayne Barbosa dos Santos

bselayne@gmail.com

## DEDICATÓRIA

*À minha mãe, a qual dedico sempre todas as minhas conquistas.*

## AGRADECIMENTOS

Meu eterno agradecimento a Deus, pela vida, pelas oportunidades, por tudo que sou hoje.

Ao DNIT, pela licença concedida a qual foi de fundamental importância permitindo que eu me dedicasse integralmente ao mestrado.

À minha família, por entender a minha decisão de estudar longe de casa e pelos incentivos dados ao longo de todo o processo, em especial à minha irmã Kamila pelo seu companheirismo.

À minha orientadora, Michelle Andrade, por toda orientação repassada, pelo conhecimento compartilhado e por toda a parceria que foi sendo construída.

A todos os professores do PPGT que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho, em especial à professora Maria Alice, a qual fez contribuições relevantes para esta pesquisa.

Aos amigos do DNIT de Brasília, Júlio Pellizzon, Ivone e Nilo, que foram de extrema importância para execução deste trabalho, auxiliando, ensinando e me recebendo no órgão todas as inúmeras vezes que precisei.

Aos amigos do DNIT do Piauí: Marcelo Filho que me incentivou a fazer a inscrição e por todos os incentivos na vida; à Liliane, pela amizade e por todos os conselhos e incentivos; à Kássia, um anjo que Deus colocou na minha vida, por todo seu suporte e dedicação quando precisei e a todos aqueles que contribuíram de alguma forma.

Ao Alex, amigo para toda a vida, pela parceria e todas as valiosas contribuições. À Helen e Maiara pela amizade construída ao longo desses 2 anos, que foi de fundamental importância para continuar, ao Cadu e Guadiana pelos bons momentos e por toda preocupação que tiveram comigo e aos demais que, de sua forma, fizeram parte dessa etapa.

E por fim, à Amanda, que apareceu na reta final do mestrado, mas que se destacou na minha vida, agradeço por toda a parceria, conselhos, paciência e inúmeros momentos descontraídos.

## **RESUMO**

Os acidentes de trânsito, por serem uma das principais causas de morte em todo o mundo, estão entre as principais preocupações de órgãos de saúde e de trânsito. Eles impactam na área econômica, social e de saúde pública e ocorrem pela interação de um ou mais fatores contribuintes, que podem ser decorrentes de falhas do homem, na via e do veículo. Dentre esses fatores ressalta-se a velocidade, que pode ser inapropriada ou excessiva, contribuindo de maneira significativa tanto para a ocorrência de acidentes como para o aumento da gravidade destes. Nesse contexto a fiscalização eletrônica de velocidade tem como objetivo principal a redução das lesões e mortes no trânsito. No entanto, assim como outras medidas reativas voltadas à promoção da segurança viária, a comprovação da efetividade da fiscalização eletrônica de velocidade deve ser realizada, preferencialmente mediante estudos do tipo antes e depois. Assim sendo, este trabalho tem como objetivo analisar o efeito dos Controladores Eletrônicos de Velocidade – CEV (fiscalização eletrônica) na promoção da segurança de vias federais brasileiras através da redução de acidentes com vítimas. Para isso, foram aplicados 3 métodos de estudo do tipo antes-e-depois a 8 locais previamente selecionados a partir de critérios estabelecidos pelos métodos. Dois dos métodos utilizados apontaram efeitos positivos dos CEV indicando a redução real de acidentes com vítimas e, portanto, a efetividade dos CEV's.

## **ABSTRACT**

Traffic accidents, for being one of the main causes of death around the world, are among the main concerns of health and traffic department. They impact on the economic, social and public health fields and occur by the interaction of one or more contributing factors, which can be results of man's, roads' and vehicles' failures. Among these factors, we can cite the speed, which may be inappropriate or excessive, contributing in a significant way to the occurrence of both accidents and their gravity. In this context, speed camera program has as a main objective the reduction of injuries and death in traffic. However, as well as other reactive measures aimed at the promotion of road safety, the confirmation of speed cameras program effectiveness has to be evaluated, preferably by the means of before-and-after studies. Therefore, this work has the objective the analysis of the effect of electronic speed controllers, also known as CEV, for the safety promotion in Brazilian Federal roads through the reduction of accidents with victims. For this, it has been applied 3 before-and-after study methods in 8 locations previously selected through the criteria established by these methods. Two of these methods used indicated positive effects of CEV, showing real reduction of accidents with victims and, therefore, the effectiveness of the CEV.

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1	DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA.....	2
1.2	OBJETIVOS .....	3
1.3	JUSTIFICATIVA.....	3
1.4	MÉTODO DA PESQUISA.....	6
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	6
<b>2</b>	<b>TRÂNSITO E SEGURANÇA VIÁRIA .....</b>	<b>8</b>
2.1	ACIDENTES DE TRÂNSITO E GESTÃO DA VELOCIDADE.....	11
2.2	FISCALIZAÇÃO ELETRÔNICA DE VELOCIDADE .....	14
2.3	TÓPICOS CONCLUSIVOS .....	23
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
3.1	MATERIAIS .....	25
3.2	MÉTODOS .....	28
3.2.1	Metodologia DNER (1998) .....	29
3.2.2	Metodologia Vadeby & Forsman (2018).....	31
3.2.3	Teste <i>t</i> de Student .....	32
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISE.....</b>	<b>34</b>
4.1	DELINEAMENTO DOS CENÁRIO DE ANÁLISE .....	34
4.1.1	Descrição das bases de dados .....	34
4.1.2	Identificação e seleção de equipamentos medidores de velocidade.....	35
4.1.3	Levantamento de dados .....	36
4.2	APLICAÇÃO DOS MÉTODOS.....	43
4.2.1	Efeito na severidade .....	44
4.2.2	Relação dos resultados com as características dos locais.....	54
4.2.3	Comparação com outros estudos.....	55
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>58</b>
5.1	LIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	59
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	60
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>61</b>
	<b>APÊNDICE A – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....</b>	<b>66</b>
	<b>APÊNDICE B – LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS DE TRATAMENTO ..</b>	<b>68</b>
	<b>APÊNDICE C – LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS DE CONTROLE .....</b>	<b>76</b>
	<b>APÊNDICE D – MAPA DE REPRESENTAÇÃO DO CEV E SEU RESPECTIVO</b>	
	<b>CONTADOR CONTÍNUO.....</b>	<b>84</b>
	<b>APÊNDICE E – TOTAL DE ACIDENTES EM CADA CONJUNTO DE PONTOS.....</b>	<b>90</b>

<b>APÊNDICE F – DESCRIÇÃO DO CONJUNTO DE PONTOS .....</b>	<b>97</b>
<b>APÊNDICE G – RELATÓRIO DO TESTE <math>t</math>.....</b>	<b>101</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Índices para soma ponderada .....	30
Tabela 4.1 Características gerais dos equipamentos incluídos no estudo – pontos tratados ...	38
Tabela 4.2 Características gerais – pontos de controle .....	39
Tabela 4.3 Volume Médio Diário anual (VMDa), em ambos os sentidos .....	39
Tabela 4.4 VMDa disponíveis e estimados .....	40
Tabela 4.5 Total de acidentes com vítimas por ano ocorridos no local de tratamento PT1 ....	43
Tabela 4.6 Total de acidentes com vítimas por ano ocorridos no ponto controle PC1 .....	43
Tabela 4.7 Resultados da metodologia DNER para os locais tratados .....	45
Tabela 4.8 Resultados da metodologia DNER para os pontos de controle .....	45
Tabela 4.9 Índices para soma ponderada .....	45
Tabela 4.10 Cálculo da efetividade $r$ .....	46
Tabela 4.11 Logaritmo de $r$ e o desvio padrão $s$ .....	47
Tabela 4.12 Teste de hipótese ( $\alpha = 0,10$ ) .....	47
Tabela 4.13 Teste de hipótese ( $\alpha = 0,05$ ) .....	48
Tabela 4.14 Resultado do teste e IC .....	49
Tabela 4.15 Cálculo dos Índices do Método .....	50
Tabela 4.16 Soma Ponderada .....	50
Tabela 4.17 Variância e Intervalos de Confiança .....	51
Tabela 4.18 Soma ponderada dos 3 períodos antes e 3 períodos após operação do equipamento e diferença entre os períodos. ....	53
Tabela A.0.1 Resumo dos artigos da RSL .....	67
Tabela E.0.1 Número de Acidentes para ponto tratado PT2, BR-101/BA .....	90
Tabela E.0.2 Número de Acidentes para ponto controle PC2, BR-101/BA .....	90
Tabela E.0.3 Número de Acidentes para ponto tratado PT3, BR-116/BA .....	91
Tabela E.0.4 Número de Acidentes para local controle PC3, BR-116/BA .....	91
Tabela E.0.5 Número de Acidentes para local Tratado PT4, BR-251/MG .....	92
Tabela E.0.6 Número de Acidentes para local Controle PC4, BR-251/MG .....	92
Tabela E.0.7 Número de Acidentes para local Tratado PT5, BR-153/PR .....	93
Tabela E.0.8 Número de Acidentes para local Controle PC5, BR-153/PR .....	93
Tabela E.0.9 Número de Acidentes para local Tratado PT6, BR-405/RN .....	94
Tabela E.0.10 Número de Acidentes para local Controle PC6, BR-405/RN .....	94
Tabela E.0.11 Número de Acidentes para local Tratado PT7, BR-282/SC .....	95
Tabela E.0.12 Número de Acidentes para local controle PC7, BR-282/SC .....	95
Tabela E.0.13 Número de Acidentes para local Tratado PT8, BR-470/SC .....	96
Tabela E.0.14 Número de Acidentes para local Controle PC8, BR-470/SC .....	96

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Desenho metodológico da pesquisa.....	6
Figura 2.1 Um modelo de Sistema Seguro .....	9
Figura 2.2 Mortes por categoria de usuários de rodovias no Brasil .....	10
Figura 2.3 Distância de parada em diferentes velocidades .....	11
Figura 2.4 Medidor de velocidade.....	14
Figura 4.1 Coleta de dados para o PNCT .....	35
Figura 4.2 Normalidade da média das diferenças .....	52
Figura B.0.1 PT1, BR 101, BA .....	68
Figura B.0.2 PT2, BR 116, BA .....	69
Figura B.0.3 PT3, BR 116, BA .....	70
Figura B.0.4 PT4, BR 251, MG .....	71
Figura B.0.5 PT5, BR 153, PR.....	72
Figura B.0.6 PT6, BR 405, RN .....	73
Figura B.0.7 PT7, BR 282, SC .....	74
Figura B.0.8 PT8, BR 470, SC .....	75
Figura C.0.1 PC1, BR 101/BA .....	76
Figura C.0.2 PC2, BR 116/BA .....	77
Figura C.0.3 PC3, BR 116/BA .....	78
Figura C.0.4 PC4, BR 251/MG .....	79
Figura C.0.5 PC5, BR 153/PR.....	80
Figura C.0.6 PC6, BR 405/RN .....	81
Figura C.0.7 PC7, BR 282/SC.....	82
Figura C.0.8 PC8, BR 470/SC.....	83
Figura D.0.1 Pontos PT2 e PT3.....	84
Figura D.0.2 Ponto PT4 .....	85
Figura D.0.3 Ponto PT5 .....	86
Figura D.0.4 Ponto PT6 .....	87
Figura D.0.5 Ponto PT7 .....	88
Figura D.0.6 Ponto PT8 .....	89

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
CEM	Controlador Eletrônico Misto
CEV	Controlador Eletrônico de Velocidade
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
DENATRAN	Departamento Nacional De Trânsito
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MS	Ministério da Saúde
MV-F	Medidor de Velocidade do tipo Fixo
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PNCV	Programa Nacional de Controle de Velocidade
PRF	Polícia Rodoviária Federal
REV	Redutor Eletrônico de Velocidade
SIOR	Sistema Integrado de Operações Rodoviárias
UPS	Unidade Padrão de Severidade

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 Componentes relacionados à segurança viária, intervenções e benefícios.....	4
Quadro 2.1 Principais estudos sobre efeitos da fiscalização de velocidade na segurança viária, no âmbito internacional.....	17
Quadro 2.2 Principais estudos sobre efeitos da fiscalização de velocidade na segurança viária, no âmbito nacional.....	20

# 1 INTRODUÇÃO

O número de mortes no trânsito continua aumentando, chegando a 1,35 milhão em 2016 (OMS, 2018). Essa é a principal causa de morte de jovens entre 15 e 29 anos e custam aos governos aproximadamente 3% do Produto Interno Bruto – PIB (OMS, 2015). No Brasil, segundo o IPEA (2015), aproximadamente 43 mil pessoas morrem por ano em acidentes de trânsito, sendo 20% dessas mortes concentradas em rodovias federais (8.227 mortes em 2014), com cerca de 26 mil feridos graves por ano, com fortes impactos sobre o orçamento público e a renda das famílias atingidas.

A situação dos acidentes de trânsito tende a se agravar ainda mais neste contexto de franca expansão da frota de veículos automotores que o país está vivendo desde o final do século passado. Destacam-se, nessa expansão, as vendas de motocicletas, que, por características intrínsecas, apresentam baixas condições de proteção aos usuários em caso de colisão e queda. Isso proporciona alto grau de severidade aos acidentes que envolvem esse tipo de veículo, aumentando as estatísticas de mortes e feridos graves (IPEA, 2015).

Além dessas baixas condições de proteção, o uso excessivo ou inapropriado da velocidade contribui para a ocorrência de um acidente e aumento da severidade, segundo Elvik *et al.* (2004). A velocidade é o principal fator de risco comportamental para lesões de trânsito (OMS, 2015) ocasionada pela influência de três principais características: (i) Características Ambientais - tais como: infraestrutura e condições de tráfego, (ii) Características do Motorista - tais como traços de personalidade e percepções subjetivas, e (iii) Fatores situacionais, definidos aqui como Risco Adicional / Benefício - como estar atrasado para o trabalho ou localizar um carro da polícia (SADIA *et al.*, 2018).

Dependendo da situação, essas características podem fazer com que o motorista desenvolva velocidades acima dos limites legais. Fleiter & Watson (2006) e Petridou & Moustaki (2000) afirmam, que a violação desses limites aumenta os riscos de colisão, bem como a gravidade das lesões associadas ao acidente. Por outro lado, velocidades mais baixas, especialmente aquelas abaixo de 30 km/h, reduzem drasticamente o risco de morte, segundo conclusões do estudo de Rosen & Sander (2009). Para Amin *et al.* (2015) e Belin *et al.* (2010) adequar esses limites de

velocidade e aumentar o número de equipamentos de fiscalização eletrônica são medidas com grande potencial para reduzir a velocidade dos veículos e melhorar a segurança viária.

Em 1989, segundo o Governo de Victoria (1993), o estado de Victoria, na Austrália, começou a implementar um programa de fiscalização eletrônica de velocidade em larga escala. Foi o pioneiro mundial nessa tecnologia. Pouco depois a ideia foi considerada um sucesso dado que ocorreu uma redução na porcentagem de veículos detectados com excesso de velocidade. Já no Brasil, em 1992, a cidade de Curitiba foi a pioneira ao utilizar uma lombada eletrônica para promover a redução da velocidade de forma menos abrupta do que com uma lombada física (PERKONS, 2019). Desde então, a fiscalização espalhou-se e hoje existe uma grande variedade de equipamentos de forma que a experiência de outros países em intervenções como essa pode servir tanto para aqueles que já implementaram como para aqueles que não.

## **1.1 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA**

No Brasil, a fiscalização de velocidade em rodovias federais é realizada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT por meio do Programa Nacional de Controle de Velocidade – PNCV. Segundo o Edital 471/2009 (DNIT, 2015a) o programa consiste da contratação de empresas que realizem a instalação, operação e manutenção dos equipamentos a fim de que sejam coletados, armazenados e processados os dados estatísticos e dados e imagens de infrações, realizando, dessa forma, o controle viário em rodovias federais. Os primeiros equipamentos tiveram instalação e operação no ano de 2011.

A resolução 396/2011 (BRASIL, 2011) trata dos requisitos técnicos mínimos para a fiscalização da velocidade, incluindo desde definições de equipamentos a estudos técnicos necessários para instalação destes. Desses equipamentos medidores de velocidade, aqueles utilizados pelo PNCV, que são do tipo fixo (Controlador Eletrônico de Velocidade – CEV, Redutor Eletrônico de Velocidade – REV e Controlador Eletrônico Misto - CEM), processam dados para identificação das infrações de trânsito e posterior emissão das notificações para os infratores de modo a alcançar o objetivo do programa que é aumentar a segurança dos usuários de rodovias federais.

Considerando o elevado número de acidentes, com vítimas, nas rodovias brasileiras, que no ano de 2017 alcançou quase 60 mil ocorrências (PRF, 2017), espera-se que o PNCV seja ampliado.

No entanto, para isso, é razoável que os resultados efetivos do programa sejam claros com vistas a justificar sua ampliação.

Muitos estudos trazem avaliações dos programas de controle de velocidade em diversos países, obtendo diferentes índices efetividade na promoção da segurança. No Brasil, há principalmente dois vocacionados à análise do efeito da fiscalização de velocidade na acidentalidade viária: Yamada (2005) que avalia os efeitos dos equipamentos medidores de velocidade do tipo fixo e DNIT (2010), que avalia o efeito dos equipamentos redutores de velocidade. Resultados divergentes quanto à melhoria da segurança viária foram encontrados.

Diante desse contexto, o problema desta pesquisa proposto é: os Controladores Eletrônicos de Velocidade (CEVs) são efetivos na redução do número de acidentes com vítimas (mortos e feridos) em trechos rodoviários?

## **1.2 OBJETIVOS**

O objetivo geral desta pesquisa é analisar o efeito dos controladores eletrônicos de velocidade (CEV) na redução do número de acidentes de trânsito com vítimas, em trechos rodoviários.

Como objetivos específicos, tem-se:

- a) Analisar os efeitos dos CEV's em termos da redução do número de acidentes com vítimas, para 8 trechos viários selecionados.
- b) Analisar os efeitos da configuração viário-ambiental na efetividade dos CEV's.

## **1.3 JUSTIFICATIVA**

O “*Save Lives*” é um pacote técnico lançado pela OMS (2017a) que destaca os principais componentes relacionados à segurança viária bem como as intervenções necessárias a fim de garantir a redução de mortes e de lesões provocadas por acidentes de trânsito. O documento ressalta o excesso de velocidade como uma das principais causas de acidentes em todo o mundo e aborda o tema no item “gestão da velocidade”.

O Quadro 1.1 resume os componentes e as soluções sugeridas pelo documento para implementação, bem como os benefícios obtidos em termos de segurança viária, o que inclui o controle de velocidade e a execução da lei, que possuem relação direta com este estudo.

**Quadro 1.1** Componentes relacionados à segurança viária, intervenções e benefícios

COMPONENTE	INTERVENÇÕES	BENEFÍCIOS
Controle de Velocidade	Estabelecer e impor leis de limite de velocidade em todo o país.	Redução das lesões e mortes no trânsito, além dos custos socioeconômicos relacionados.
	Construir ou modificar vias para acalmar o tráfego, como rotatórias, estreitamentos ou blitz.	Melhoria na poluição do ar, no consumo de combustível e na poluição sonora.
	Exigir que os fabricantes de automóveis instalem novas tecnologias que ajudem a lembrar os motoristas dos limites de velocidade.	Ambiente mais amigável para práticas de caminhada e ciclismo.
Liderança na Segurança Viária	Criar uma agência para liderar a segurança viária.	Desenvolvimento de uma governança para realizar intervenções específicas.
	Desenvolver e financiar estratégias de segurança viária.	Sensibilização e mobilização de <i>Stakeholders</i> .
	Avaliar o impacto das estratégias de segurança viária.	Alocação de recursos financeiros e humanos para desenvolvimento e implementação da política de segurança viária.
	Monitorar a segurança rodoviária através do fortalecimento de sistemas de dados.	Melhoria contínua da coordenação da política de segurança viária.
	Aumentar a conscientização e o apoio público por meio de campanhas educacionais.	Aumento da conscientização sobre os fatores de risco e medidas cabíveis de prevenção.
Projeto e Melhoria da Infraestrutura	Fornecer segurança a todos os usuários de vias por meio de calçadas, áreas de descanso, faixas de pedestres.	Redução de acidentes e de emissão de poluentes bem como dos custos socioeconômicos relacionados.
	Criar faixas para bicicletas e motos.	
	Tornar os dois lados das vias mais seguros com o uso de zonas iluminadas e barreiras de proteção.	Promoção da saúde por meio do ambiente mais amigável para caminhada e ciclismo.
	Desenvolver interseções mais seguras.	
	Criar vias de acesso local separadas de vias artérias/coletoras.	Fomento a novas formas de deslocamento e redução de viagens desnecessárias.
	Priorizar as pessoas, criando zonas livres de circulação veicular.	
	Restringir o tráfego e a velocidade nas zonas residenciais, comerciais e escolares.	
Definir rotas mais rápidas e mais seguras para o transporte público.		
Padrões de Segurança dos Veículos	Estabelecer e aplicar leis relacionadas ao uso de cintos de segurança; à ancoragem do cinto de segurança impacto frontal; impacto lateral; controle eletrônico de estabilidade; proteção para pedestres e pontos de restrição infantil.	Diminuição de lesões e mortes no trânsito, além de custos relacionados.
	Desenvolver regulamentos para os sistemas de travagem anti-bloqueio de motos e também para o uso de faróis durante o dia.	Expansão do uso de tecnologias para a segurança veicular, além das opções tradicionais voltadas para infraestrutura, legislação e fiscalização.
Execução da lei	Estabelecer e fiscalizar o atendimento a leis a nível nacional, regional e municipal em relação ao consumo responsável de bebidas alcoólicas, ao uso	Redução no número de fatalidades e ferimentos em acidentes, além dos custos socioeconômicos associados.

COMPONENTE	INTERVENÇÕES	BENEFÍCIOS
	de capacetes, cintos de segurança e restrições específicas para crianças.	Melhoria no cumprimento das leis de trânsito.
Sobrevivência após colisão	Desenvolver cuidados de emergência pré-hospitalares e sistemas organizados de emergência.	Redução de mortes e incapacidades resultantes de ferimentos em acidentes no trânsito e a diminuição dos custos socioeconômicos relacionados.
	Treinamento do atendimento em cuidados básicos de emergência.	Utilização mais eficiente e eficaz dos recursos de saúde existentes em todos os níveis do sistema.
	Promover treinamento de primeiros socorros na comunidade.	Aumento da capacidade do sistema de atendimento de emergência.

Segundo o documento, executar as políticas de segurança viária depende de fatores como a capacidade do governo local e dos tomadores de decisão para planejar e implementar as medidas de segurança em suas nações. Por isso, a atenção voltada à segurança viária difere de país para país. Quanto ao componente “controle de velocidade”, é importante garantir que sejam aplicadas tanto as leis de limite de velocidade quanto as punições para os infratores.

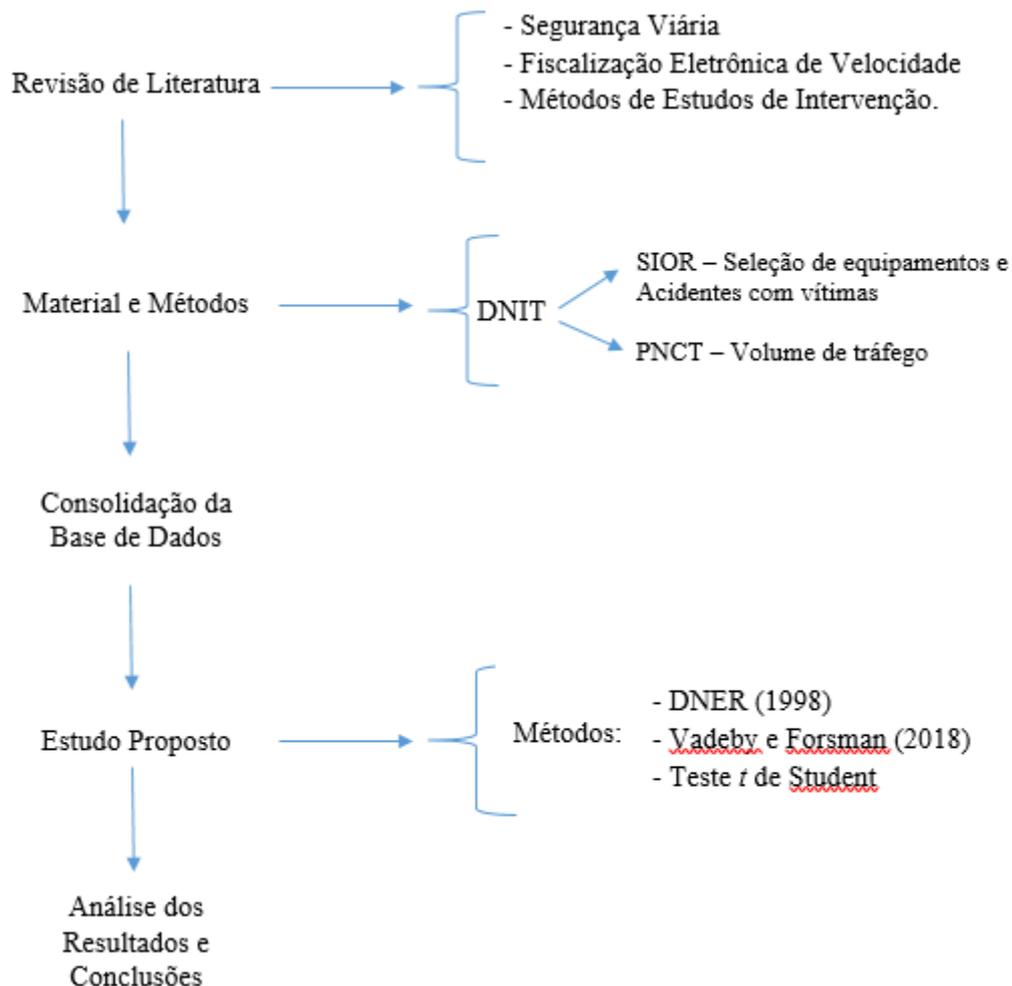
A fiscalização eletrônica também é citada como intervenção para controlar a velocidade e está presente em diversos lugares no mundo. Entretanto, os efeitos só serão percebidos caso sejam realizadas avaliações a fim de verificar se houve redução na gravidade e no número de acidentes. Tal como sugerem Carnis & Blais (2013), essa redução é uma justificativa para a continuação e melhorias dos programas de controle de velocidade e pode ser otimizada, por exemplo, com a inserção de mais equipamentos, aumentando, portanto, a cobertura de detecção.

A AASHTO (2010) e o Banco Mundial (2013) também comentam que, a avaliação da eficácia de medidas de segurança viária, periodicamente, tem um papel importante de quão bem os fundos foram investidos nessas melhorias e pode influenciar as futuras atividades de tomada de decisões relacionadas à alocação de recursos e revisão das políticas de agências rodoviárias.

Nesse contexto, esta pesquisa se justifica por ter o objetivo de analisar os efeitos de uma das intervenções indicadas na literatura como promotora da segurança viária: o emprego de equipamentos medidores de velocidade. Ao avaliar os efeitos da fiscalização eletrônica, espera-se que ela tenha sido efetiva na redução do número de acidentes com vítimas, que é o escopo desse projeto. Dessa forma, a pesquisa contribuirá para o meio científico reforçando a literatura brasileira a respeito do tema podendo ainda subsidiar as decisões de planejadores com base nas respostas sobre efetividade do programa de controle de velocidade no Brasil.

## 1.4 MÉTODO DA PESQUISA

O presente estudo é caracterizado pela sua natureza aplicada e quantitativa. A pesquisa está estruturada em 5 etapas conforme a estrutura apresentada na Figura 1.1.



**Figura 1.1** Desenho metodológico da pesquisa

## 1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está estruturada em 5 Capítulos, sendo:

**Capítulo 1:** É composto dos itens introdutórios que são: introdução, delimitação do problema, objetivos, justificativa e método da pesquisa.

**Capítulo 2:** Este Capítulo traz a revisão bibliográfica necessária para fundamentar o trabalho. Nele é realizada uma análise das principais contribuições dos estudos mais relevantes, bem como suas técnicas e métodos.

**Capítulo 3:** Capítulo destinado aos materiais utilizados e aos métodos escolhidos para desenvolvimento do estudo.

**Capítulo 4:** Neste Capítulo são apresentados os resultados da coleta de dados, da aplicação dos métodos e as respectivas discussões.

**Capítulo 5:** O último Capítulo traz as conclusões, limitações do estudo e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 TRÂNSITO E SEGURANÇA VIÁRIA

Rozestraten (2012) descreve o trânsito como um “conjunto de deslocamentos de pessoas e veículos nas vias públicas, dentro de um sistema convencional de normas, que tem por fim assegurar a integridade de seus participantes”. Supõe ainda que esse deslocamento se realiza através de comportamentos, cuja adequabilidade é garantida com a interação de três condições:

- i. A presença de estímulos e situações que permitam sua percepção inequívoca;
- ii. Um organismo em condições de perceber e de reagir adequadamente a esses estímulos;
- iii. Uma aprendizagem prévia dos sinais e das normas que regulam o sistema de trânsito.

De acordo com Sinay & Tamayo (2005) a segurança viária, por meio de suas condições e fatores, permite que esses participantes possam circular e interagir na via de forma segura e sob níveis aceitáveis de risco. Para Ferraz *et al.* (2012), quando essa interação não ocorre de maneira apropriada, em razão da falha de um ou mais fatores associados aos 3 elementos do trânsito – ser humano, veículo e via – pode ocorrer o acidente de trânsito.

O manual de segurança viária da AASHTO (2010) menciona que motoristas cometem erros frequentes devido a limitações físicas, perceptivas e cognitivas e esses erros são fatores significativos que contribuem para a maioria dos acidentes. Além de erros não intencionais, os motoristas, às vezes, violam propositalmente os dispositivos e leis de controle de tráfego.

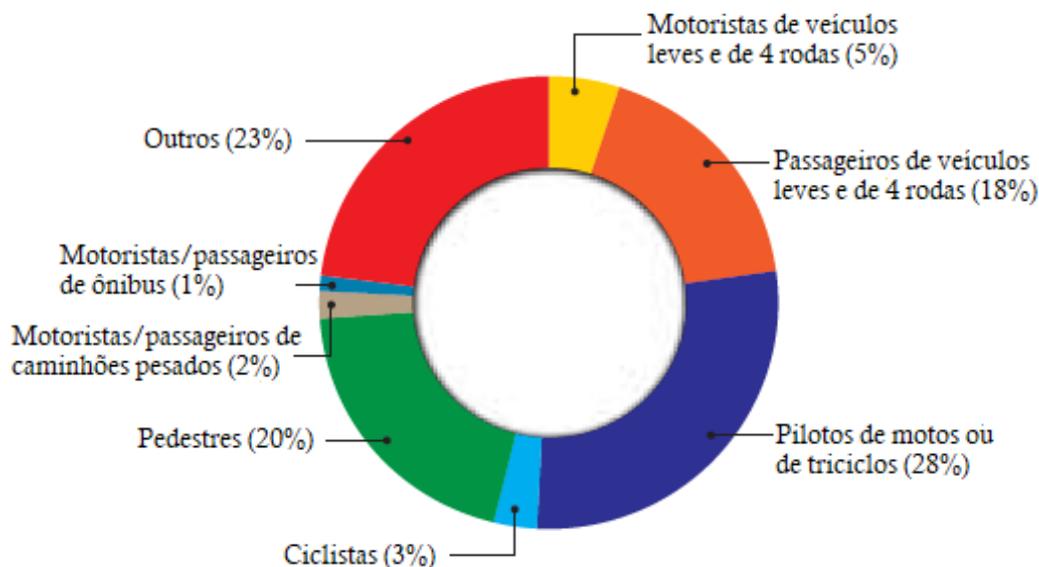
Dentro de um sistema de trânsito, os usuários vulneráveis de uma via são aqueles que possuem pouca ou nenhuma proteção contra impactos que possam ocorrer e conseqüentemente terem maior risco de lesão ou morte. São os pedestres, ciclistas e motociclistas. De acordo com a OMS (2015), quase metade das mortes decorrentes de acidentes de trânsito no mundo está entre esse tipo de usuário e quase um quarto de todas as mortes de trânsito está entre motociclistas. Por isso, a organização destaca que é fundamental implantar ações efetivas para reduzir o número de mortes de pedestres e ciclistas no trânsito e, conseqüentemente, alcançar o objetivo da Década de Ação para a Segurança no Trânsito de promover formas de transporte não-motorizadas.

Em todas as regiões do mundo, para evitar mortes e lesões incapacitantes nas vias terrestres, deve ser criado um sistema de trânsito melhor adaptado às vulnerabilidades físicas de seus usuários – com o uso de mais veículos e vias à prova de colisões. O conceito de “sistema seguro” propõe um sistema viário que admita o erro humano sem levar à morte ou a lesões graves. A abordagem visa, portanto, minimizar a gravidade da lesão quando ocorre um erro que culmina em acidente, e é baseada na premissa de que os usuários das vias não deveriam morrer por causa de falhas do sistema (OPAS, 2008). A Figura 2.1 ilustra essa abordagem.



**Figura 2.1** Um modelo de Sistema Seguro  
 Fonte: Adaptada de Australian Transport Council (2008).

O relatório da AMBEV (2017) reporta alguns dados a respeito do Brasil, tais como políticas para promover a caminhada e o ciclismo e a existência do Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN como principal agência de trânsito do país. Ainda de acordo com esse relatório a taxa de óbitos no Brasil atingiu 19,2 por 100 mil habitantes. Este foi o melhor resultado no índice de mortalidade por esta causa desde 2004. A Figura 2.2 representa a porcentagem de morte para cada categoria de usuário de rodovias do país.



**Figura 2.2** Mortes por categoria de usuários de rodovias no Brasil

Fonte: Adaptada de OMS (2015).

Ainda segundo esse relatório, as cinco regiões brasileiras apresentaram redução no número de óbitos (números absolutos) por acidentes de trânsito no ano de 2015 em relação a 2010, sendo este último o ano que o Brasil aderiu à Década de Segurança no Trânsito da ONU a qual foi estabelecida pela Resolução 64/255 da Assembleia Geral da ONU e cujo objetivo é estabilizar e reduzir os níveis previstos de mortes no trânsito ao redor do mundo (OMS, 2015).

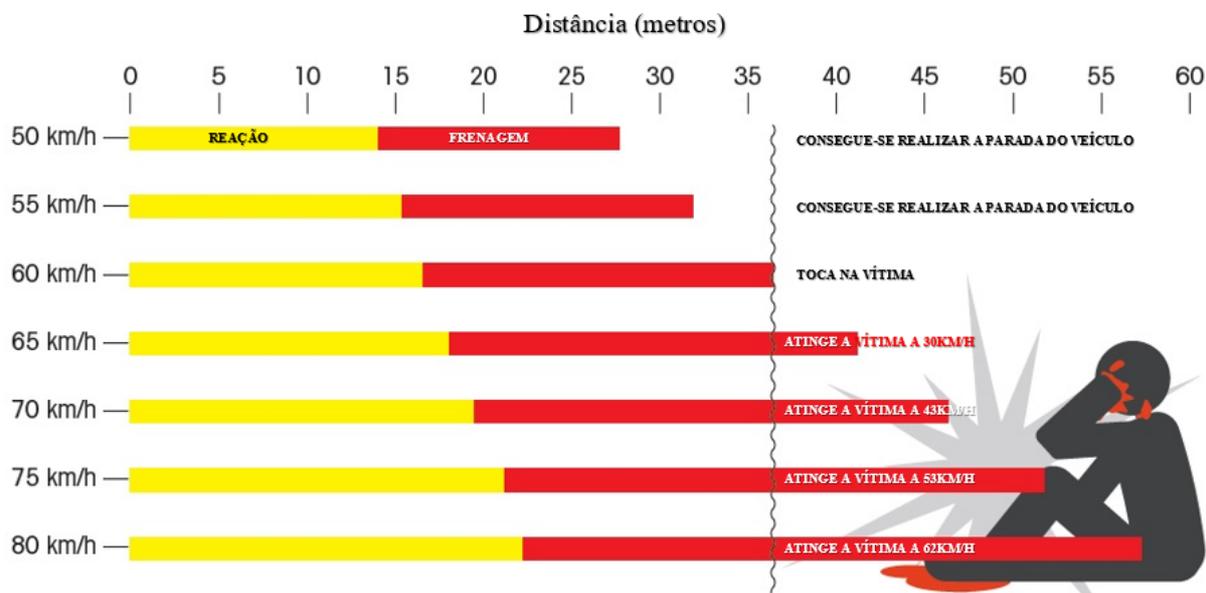
Segundo Touahmia (2018), é importante identificar os fatores de risco que contribuem para os acidentes de trânsito para formular adequadamente as prioridades dos planos de ação e as intervenções que possam efetivamente reduzir os riscos associados a eles. Ressalta ainda, que é geralmente reconhecido que uma abordagem multidisciplinar é necessária para compreender as principais causas dos acidentes de trânsito e fornecer soluções melhores e apropriadas.

Somado ao exposto, destaca-se o conceito de Duduta *et al.* (2012) de que “cidades seguras tendem a ser aquelas com ampla rede de transporte coletivo, boas condições para andar a pé e de bicicleta, menor número de carros circulando em suas vias, sendo que esses trafegam distâncias mais curtas e com velocidades mais seguras.”

## 2.1 ACIDENTES DE TRÂNSITO E GESTÃO DA VELOCIDADE

A OMS (2015) destaca a velocidade como o principal fator de risco associado a lesões causadas no trânsito. Em todo o mundo, 47 países definiram o limite de velocidade em no máximo 50km/h, porém, 50% da população ainda dirige acima desse limite. Segundo a OMS (2017b), a velocidade tem um efeito positivo na mobilidade em termos de redução do tempo de viagem, mas tem um impacto negativo na segurança viária aumentando a probabilidade de acidentes de trânsito, bem como sua gravidade. Ressalta ainda que velocidade excessiva ou inapropriada é um fator chave para colisões, mortes e lesões graves no trânsito.

De modo geral, os motoristas assumem exceder os limites de velocidade por pressa, por prazer ou mesmo para se adaptar à condição de tráfego vigente (SWOV, 2012). Entretanto, em altas velocidades, o tempo para reagir a mudanças no ambiente é menor, a distância de parada é maior e a capacidade de manobra é reduzida (AARTS & VAN SCHAGEN, 2006), configurando um risco maior para a ocorrência de um acidente. A Figura 2.3 ilustra essa relação de limites de velocidade com o incremento de risco de um acidente de trânsito.



**Figura 2.3** Distância de parada em diferentes velocidades

Fonte: Adaptada de OMS (2017a).

Na Figura 2.3 é possível observar que um veículo a uma velocidade de 60 km/h percorre pouco mais de 15 metros para a efetiva reação e início da frenagem, percorrendo ainda, aproximadamente 20 metros até a parada total do veículo. Nessa velocidade, o veículo atingiria o pedestre que estaria, inicialmente, a 37 metros de distância quando foi visto. Velocidades

superiores a 60 km/h, para a condição ilustrada, resultam em colisão com o pedestre, sendo que a 70 km/h, a velocidade de choque com o pedestre já resultaria em ferimentos graves com grande chance de fatalidade. Para o caso, velocidades inferiores a 55 km/h viabilizam a parada do veículo evitando um provável acidente.

Touahmia (2018) realizou um estudo para identificar os fatores que afetam os acidentes de trânsito na província de Hail, na Arábia Saudita. Para isso ele conduziu uma pesquisa por meio de um questionário que buscou levantar informações sobre os participantes tais como seu comportamento e práticas de direção, seu conhecimento e consciência das leis e regulamentos de trânsito, sua avaliação das condições das vias e as interações entre esses fatores. O objetivo do estudo foi identificar as dificuldades mais profundas e os problemas de segurança viária enfrentados pelos usuários.

A análise dos questionários levou à conclusão de que 63% dos participantes já se envolveram em um acidente de trânsito e que fatores humanos são o principal fator que contribui para a ocorrência de acidentes, esse último, um resultado comum em diversos estudos. Obteve-se ainda que 67% dos acidentes relatados resultaram de erros humanos, 29% de defeitos na via e 4% das condições do veículo. Aproximadamente dois terços dos entrevistados relataram não obedecer ao limite de velocidade regulamentado e que muitas vezes dirigem acima dos limites de velocidade tanto em rodovias, como em vias urbanas. Esses resultados refletem a falta de conscientização de um grande número dos entrevistados sobre os riscos e as consequências da não conformidade com as regulamentações de limite de velocidade. Os dados da pesquisa indicam, ainda, que o excesso de velocidade foi a principal causa de acidentes rodoviários entre as causas humanas de acidentes.

Nos estudos realizados por Elvik & Vaa (2004), os autores verificaram que o excesso de velocidade contribui para um número substancial de lesões e que, se o número de condutores que excedem os limites de velocidade puder ser reduzido, é provável que haja diminuição tanto na probabilidade como na gravidade dos acidentes. Os autores citam, em seu manual de medidas de segurança viária, que os medidores eletrônicos de velocidade poderiam reduzir o número de pessoas feridas em acidentes em até 17%. No entanto, de acordo com as avaliações disponíveis, as medidas parecem ser mais efetivas em áreas urbanas (redução de 28%) do que nas áreas rurais (redução de 4%).

O fato de a velocidade ser, na maioria dos casos, indicada como a principal causa de acidente torna necessário implementar medidas que a tratem a fim de melhorar a segurança de todos os usuários do sistema de trânsito. A gestão da velocidade engloba uma série de medidas que visam equilibrar segurança e eficiência na circulação em uma rede viária devendo envolver também medidas que incluam fiscalização, engenharia e educação. Quanto mais difundidas essas medidas, especialmente a fiscalização, e quanto maior for o alcance na aplicação de sanções contra os excessos de velocidade, maior será a observância. É válido ressaltar ainda que, para conseguir uma aceitação ampla da fiscalização por parte do usuário, os limites de velocidade devem ser apropriados – e reconhecidos como tais pelo público (OECD/ECMT, 2006).

A publicação da OMS (2017b) apresenta 5 abordagens para o gerenciamento da velocidade:

- i. Construir ou modificar as vias para incluir recursos que acalmem o tráfego – tais como lombadas e chicanas;
- ii. Estabelecer limites de velocidade adequados à função de cada via – levando em conta os tipos de usuários, a qualidade da segurança da via e a capacidade de evitar acidentes;
- iii. Fiscalizar o cumprimento dos limites de velocidade – essencial para tornar os limites de velocidade efetivos;
- iv. Instalar tecnologias no veículo – que ajudem a melhorar a segurança viária tais como assistência de velocidade inteligente e o freio de emergência autônomo.
- v. Aumentar a conscientização sobre os riscos do excesso de velocidade – por meio de campanhas de mídia de massa, por exemplo.

No entanto, a OPAS (2008) destaca que é necessário o adequado reconhecimento do espaço e da sua dinâmica operacional antes de implementar a gestão da velocidade. Para tanto são recomendadas desde análises relativas às funções da via e tipo de ocupação dos seus entornos, até o comportamento dos diversos tipos de usuários. Também devem ser analisados dados de velocidade, de acidentes e as leis que regulamentam a circulação de cada região.

De acordo com a OMS (2017b), se todos os países do mundo implementassem a gestão da velocidade como parte de um conjunto mais amplo de intervenções de segurança viária, o progresso em direção às metas globais de segurança viária poderia ser alcançado. Esses esforços ajudariam os países e as comunidades a reduzir os acidentes de trânsito relacionados à

velocidade, ao mesmo tempo em que estimulariam formas de transporte não motorizadas - ciclismo e caminhada (mais seguros), que por sua vez trazem benefícios positivos à saúde e ao ambiente.

## 2.2 FISCALIZAÇÃO ELETRÔNICA DE VELOCIDADE

A fim de controlar o excesso velocidade e diminuir a ocorrência de acidentes, vários países no mundo todo estão utilizando a fiscalização eletrônica de velocidade. Ela é realizada por meio de equipamentos eletrônicos ou medidores de velocidade, como são chamados no Brasil e que, segundo a Resolução 396/2011 (BRASIL, 2011) podem ser de 4 tipos: fixo (instalado em local definido e em caráter permanente); estático (instalado em veículo parado ou em suporte apropriado); móvel (instalado em veículo em movimento, procedendo a medição ao longo da via) e portátil (direcionado manualmente para o veículo alvo). As Figuras 2.4 e 2.5 ilustram alguns tipos.



(a) Tipo Fixo



(b) Tipo Estático

**Figura 2.4** Medidor de velocidade

Fonte: KOOP (2019).



**Figura 2.5** Medidor de velocidade portátil

Fonte: KOOP (2019).

Brasil (2011) traz ainda as seguintes definições a respeito dos medidores do tipo fixo:

- Controlador Eletrônico de Velocidade: medidor de velocidade do tipo fixo, destinado a fiscalizar o limite máximo regulamentado para a via ou trecho de via, por meio de sinalização ou pelos limites definidos no art. 61 do Código Brasileiro de Trânsito;
- Redutor Eletrônico de Velocidade: medidor de velocidade do tipo fixo, com dispositivo registrador de imagem, destinado a fiscalizar a redução pontual de velocidade em trechos considerados críticos, cujo limite é diferenciado do limite máximo regulamentado para a via ou trecho de via, em um ponto específico indicado por meio de sinalização.



(a) Controlador Eletrônico de Velocidade



(b) Redutor Eletrônico de Velocidade

**Figura 2.6** Medidores de Velocidade do Tipo Fixo

Fonte: TECDET (2019).

Esses equipamentos têm sido objeto de estudo de vários pesquisadores em todo o mundo, a respeito da sua eficácia na redução de acidentes. Pilkington & Kinra (2005) revisaram 14 estudos de avaliação da efetividade de medidores de velocidade do tipo fixo, móvel e da combinação fixo/móvel na redução de acidentes. Os resultados da análise destacaram que a implementação dos medidores provocou, em média, redução de acidentes do tipo colisão (5% a 69%), redução de lesões (12% a 65%) e redução de fatalidades (17% a 71%). Wilson *et al.* (2010) também revisaram 35 estudos voltados à avaliação da eficácia de medidores de velocidade móveis e fixos na redução de velocidade e na redução do número de acidentes. Os autores verificaram que as reduções de acidentes, para a maioria dos estudos, variaram entre 14% e 25%.

Além desses estudos de revisão, foram encontradas também publicações que relacionam a velocidade com os acidentes de trânsito avaliando o efeito desses equipamentos na accidentalidade. Dessas observou-se que os estudos são em grande parte do tipo “antes e depois”, ou seja, comparam dados de acidentes antes e após o início de operação do equipamento a fim de avaliar se o equipamento gerou efeito esperado (redução de acidentes).

Os Quadros 2.1 e 2.2 apresentados a seguir, trazem uma análise em resumo de 7 estudos internacionais e 2 estudos nacionais identificados como relevantes para subsidiar a pesquisa em questão. Vale destacar que dos 9 (nove) estudos apresentados a seguir, apenas 1 (ABDULSALAM *et al.* 2015) não empregou o estudo do tipo antes e depois, pois para a região estudada, não dispunha de dados anteriores à instalação dos equipamentos. Dessa forma, os autores realizaram uma modelagem de frequência de colisões fatais para avaliar o efeito da fiscalização de velocidade na segurança viária.

**Quadro 2.1** Principais estudos sobre efeitos da fiscalização de velocidade na segurança viária, no âmbito internacional

ANO	AUTORES	TÍTULO	OBJETIVO	RESULTADOS
2003	Newstead & Cameron	<i>Evaluation of Crash Effects of the Queensland Speed Camera Program</i>	Investigar os efeitos de medidores móveis na redução de acidentes do programa de fiscalização eletrônica de velocidade em Queensland. O estudo é do tipo antes-depois com 5 anos para o período anterior e 4,5 anos para o posterior. Foram incluídos na análise 6 níveis diferentes de severidade de acidentes e analisados em raios de 2 km, 4 km e 6 km do equipamento.	O efeito do programa, sob um estudo do tipo quase-experimental, foi estimado utilizando o modelo estatístico log-linear de Poisson e técnicas convencionais de regressão linear. Foram conduzidas duas análises: variação da efetividade por ano de operação e por região. Mais de 85% dos acidentes ocorridos durante o período de estudo (janeiro de 1992 a junho de 2001) estavam situados dentro dos 6 km citados. Após aplicação do modelo observou-se que o raio de 2km apresentou as maiores reduções de acidentes (73%). As reduções de acidentes estão fortemente relacionadas ao número de equipamentos operantes, bem como à cobertura de fiscalização.
2004	Hess	<i>Analysis of the effects of speed limit enforcement cameras: differentiation by road type and catchment area</i>	Avaliar o efeito de 49 medidores fixos na redução de acidentes, em Cambridgeshire. O estudo é do tipo antes-depois com um período total de 12 anos de análise. Foram incluídos todos os acidentes com vítimas analisados em raios de 250 m, 500 m, 1000 m e 2000 m do equipamento.	Pesos diferentes foram atribuídos a diferentes severidades. Foram então utilizados métodos para: diferenciar os efeitos dos equipamentos com os efeitos da regressão à média; remover tendências e sazonalidade; calcular os efeitos da instalação dos equipamentos e cálculo das médias dos resultados nas diferentes seções. Os resultados mostram que, na faixa de 250 m, o efeito médio da instalação de um equipamento tem uma queda no número de acidentes com vítimas (ponderados) em 45,74%; os valores correspondentes para as faixas de 500 m, 1000 m e 2000 m são reduções de 41,30%, 31,62% e 20,86%, respectivamente. A redução mais significativa foi para o raio de 250 metros.
2004	Mountain et al.	<i>Costing lives or saving lives: a detailed evaluation of the impact of speed cameras</i>	Avaliar o impacto de 62 medidores fixos na redução de acidentes e no fluxo de tráfego, no Reino Unido. O estudo é do tipo antes-depois com um período total de 12 anos de análise. Foram incluídos todos os acidentes.	Para controlar os efeitos da regressão à média, utilizou-se a modelagem empírica de Bayes para estimar os acidentes esperados no período anterior e para estimar os no período posterior utilizou-se um grupo de comparação. O maior efeito foi encontrado a distâncias de até 250 m do equipamento, na qual foi encontrada uma redução significativa de 25% no número de acidentes com ferimentos. Entre 250 m e 500 m, essa redução do número de acidentes caiu para 15% e entre 500 e 1000m foi de 12%. Esses percentuais se dividem em reduções atribuídas ao equipamento e reduções atribuídas ao desvio de tráfego para outra via. Para acidentes com feridos graves e fatais os raios de 500 m e 1000m apresentaram reduções 11% e 13 %, respectivamente. No entanto, ambos os resultados não foram estatisticamente significativos.

ANO	AUTORES	TÍTULO	OBJETIVO	RESULTADOS
2013	Carnis & Blais	<i>An assessment of the safety effects of the French speed camera program</i>	Estimar o efeito dos medidores fixos e móveis na redução de acidentes, na França. O estudo é do tipo antes-depois com um período total de 12 anos de análise. Foram incluídos todos os acidentes.	Os resultados do estudo, alcançados por meio do método séries temporais interrompidas, comprovou uma redução de 72,7% no número de mortes nas rodovias nos dois anos após a implementação do programa. Porém deve ser interpretado com cautela, uma vez que não foram consideradas sazonalidades que possam ter influenciado na redução de acidentes. Os resultados indicam que o programa desempenhou um papel importante na melhoria da direção segura, apesar do efeito de decaimento observado para acidentes sem mortos, ao longo dos anos após implantação do programa.
2014 a	De Pauw et al.	<i>An evaluation of the traffic safety effect of fixed speed cameras</i>	Avaliar o efeito de medidores fixos na redução de acidentes, em Flandres na Bélgica. O estudo é do tipo antes-depois com um período total de 9 anos de análise. Foram incluídos todos os acidentes com vítimas analisados em raios de 250 m, 500 m, 750 m e 1000 m do equipamento.	Adotou-se um grupo de comparação ao grupo tratado. Foi realizada uma análise individual para cada local utilizando uma estimativa Empírica de Bayes e em seguida para todos os locais. Foram avaliados locais somente com os MV-F e locais com MV-F combinados com outras medidas ostensivas. Além disso, também foi analisado o efeito de acordo com as características dos locais. Os efeitos dos MV-F foi uma redução de 8% no número de acidentes com vítimas e 29% para os mais graves (significativo a nível de 5%). Para acidentes com vítimas, nas distancias de 0m a 250m; 250m a 500m; 500m a 750m e 750m a 1000m foram encontradas reduções de 1% e 8% para as duas primeiras faixas e um aumento de 2% e 8% para as demais faixas, respectivamente. Nenhum desses resultados foram significativos. Aqueles com combinação de medidas tiveram uma redução de 10% de todos os acidentes com vítimas e de 23% para os acidentes graves. Também não foram resultados significativos. Quanto às características do local, a velocidade foi o item mais significante no qual para 50km/h têm-se maiores reduções de acidentes comparada a 90km/h.

ANO	AUTORES	TÍTULO	OBJETIVO	RESULTADOS
2015	Abdulsalam et al.	<i>The effect of automated speed cameras on fatal traffic collisions in Kuwait</i>	Analisar o efeito de medidores fixos na frequência de acidentes fatais nas principais rodovias do Kuwait. O estudo não é do tipo antes-depois, porém foram utilizados dados de acidentes de 3 pós operação dos equipamentos. Foram incluídos todos os acidentes com vítimas analisados em raios de 500 m, 1000 m e 2000 m do equipamento e também se realizou uma comparação entre seções com e sem o equipamento.	Por não se dispor de dados de acidentes antes da instalação dos equipamentos, utilizou-se uma análise de regressão/regressão binomial negativa para desenvolver modelos de desempenho de segurança para frequência de colisão fatal. Além disso foram adotados locais similares àqueles com equipamentos, entretanto sem a presença deste. Os efeitos foram observados 500m e 1000m após o equipamento e não foram encontradas diferenças significativas no número de colisões fatais. Concluíram também que as seções com MV-F tiveram maior frequência de colisão fatal do que aquelas sem o equipamento. Entretanto, ressaltaram que, necessariamente, isso não significa que a presença dos equipamentos tenha contribuído para o aumento das colisões fatais. Além disso, não existia um banco de dados de acidentes antes da instalação dos equipamentos, sendo utilizados os registros policiais. Por esse motivo, uma análise antes-depois não foi possível para esse estudo. A análise foi realizada a partir da modelagem da frequência de colisões frontais.
2015	Høye	<i>Safety effects of fixed speed cameras - An empirical Bayes evaluation</i>	Investigar os efeitos de 223 medidores fixos no número de acidentes com vítimas e no número mortos e/ou gravemente feridos, na Noruega. O estudo é do tipo antes-depois, com 3 anos inteiros para ambos os períodos. Foram incluídos todos os acidentes com vítimas analisados em 3 seções: 3,1 km; 1,1 km e 200 m.	Adotou-se também a estimativa Empírica de Bayes. Os resultados dessa aplicação mostraram uma redução estatisticamente significativa de 22% de acidentes com feridos para seções “médias”. Não foram encontrados efeitos estatisticamente significativos para as seções “longas” e “curtas”. O efeito geral dos equipamentos foi para os acidentes mais graves, entretanto não foram estatisticamente significativos. Os resultados indicam ainda que os efeitos dos equipamentos medidores de velocidade diminuem com o aumento da distância dos locais de instalação das câmeras.

**Quadro 2.2** Principais estudos sobre efeitos da fiscalização de velocidade na segurança viária, no âmbito nacional

ANO	AUTORES	TÍTULO	OBJETIVO	RESULTADOS
2005	Yamada	Impacto dos radares fixos na velocidade e na acidentalidade em trecho da rodovia Washington Luís	Avaliar o impacto de medidores fixos na velocidade (instantânea) e na acidentalidade da rodovia Washington Luís – SP-310 - pista dupla. O estudo do “antes-depois” levou em conta o período total de 2 anos. Foram incluídos acidentes com vítimas e sem vítimas.	Testes estatísticos não foram aplicados. Os resultados mostraram que, quanto ao impacto na velocidade, os veículos reduzem a sua velocidade, na maioria dos casos, imediatamente antes dos radares fixos. Quanto à acidentalidade, foram analisados os índices de acidente – 1 ano antes e 1 ano depois – dos segmentos individualmente (2km antes e 2km após o equipamento) e de toda a extensão do trecho da rodovia em estudo. A análise de valores absolutos da acidentalidade mostrou que não houve melhoria na segurança dos trechos e segmentos estudados, uma vez que todas as taxas aumentaram. Do mesmo modo, nos segmentos estudados também não houve melhoria, dessa vez considerando os índices de acidentes e também na extensão total do trecho.
2010	DNIT	Equipamentos redutores de velocidade e seus efeitos sobre os acidentes nas rodovias federais	Avaliar o efeito do programa do DNIT de redutores de velocidade (REV's) como “lombadas eletrônicas”.	Testes estatísticos (não cita quais) aplicados indicam uma efetiva redução de acidentes nos locais de instalação dos REV's e fornecem a medida geral dessa redução, em especial dos acidentes fatais.

Pelas informações dos Quadros 2.1 e 2.2 é possível observar que estudos, em sua maioria, visaram avaliar o efeito dos medidores por meio de uma abordagem do tipo antes/depois. No entanto, os resultados não foram sempre convergentes e, por vezes, trouxeram resultados não significativos.

Os estudos de Mountain *et al.* (2004), De Pauw *et al.* (2014a), Abdulsalam *et al.* (2015) e Høye (2015) mostraram que a seleção dos equipamentos para seus estudos foi limitada pela disponibilidade de dados (acidente, tráfego, características dos locais, etc). Viu-se ainda que o equipamento do tipo fixo foi o mais estudado e a análise dos acidentes, na maioria, foi realizada a diferentes distâncias dos equipamentos e em relação a outras particularidades – volume de tráfego, características locais, adoção de um grupo controle, etc - que poderiam influenciar na redução ou aumento desses acidentes.

Quanto ao método, foram adotados, por exemplo, séries temporais (CARNIS & BLAIS, 2013) e abordagem empírica de Bayes (Mountain *et al.*, 2004; De Pauw *et al.*, 2014a e Høye, 2015). Além disso Newstead & Cameron (2003), Mountain *et al.* (2004); De Pauw *et al.* (2014a) e

Abdulsalam *et al.* (2015) adotaram um grupo de controle – local similar ao grupo tratado, porém sem o medidor de velocidade. Esse procedimento tem o propósito de evitar o equívoco de associar um possível efeito positivo superestimado do equipamento uma vez que, devido à natureza aleatória dos acidentes, após um período de altas frequências é esperada uma redução no período seguinte. Em estudos sem o grupo de controle, pode-se associar essa redução como efeito da implantação da medida de controle da velocidade (AASHTO, 2010).

Segundo o DNER (1998), a avaliação do efeito dos medidores de velocidade faz parte da etapa de avaliação de efetividades do processo de gerenciamento de segurança viária. Nela é verificada a efetividade da intervenção para subsidiar a decisão sobre a permanência, alteração ou retirada do equipamento de modo a otimizar os recursos e os benefícios da medida empregada. As demais etapas, que precedem a avaliação, constam de: análise e diagnóstico do local, proposição de melhorias, avaliação econômica dos melhoramentos, implantação das medidas, monitoramento e finalmente a avaliação.

A AASHTO (2010) apresenta 3 modelos de estudos utilizados para essa avaliação de efetividade:

- Estudo observacional antes/depois;
- Estudos observacionais em seções transversais e;
- Estudos experimentais antes/depois.

Estudos observacionais são realizados sem a intervenção do pesquisador no ambiente, enquanto os estudos experimentais consideram tratamentos implementados especificamente para avaliar sua efetividade. Estudos observacionais do tipo antes/depois em geral preveem a seleção de um local denominado controle para cada local tratado (ou caso) – local em que foram implementadas medidas de intervenção. Os trechos ou seções “caso e controle” devem ser similares entre si em termos de volume de tráfego, geometria, ocupação da área lindeira e outras características, para que sejam avaliados de modo comparativo na avaliação da efetividade (AASHTO, 2010).

O volume de tráfego mencionado, que pode ser o Volume Médio Diário - semanal, mensal e anual - é, segundo o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006) o número médio de veículos que percorre uma seção ou trecho de uma rodovia, por dia, durante um certo período de tempo. Quando não se especifica o período considerado, pressupõe-se que se trata de um

ano. O VMDa – Volume Médio Diário anual - é, então, o número total de veículos trafegando em um ano dividido por 365 e inclui todos os veículos que circulam na via podendo ser expresso em um sentido ou em ambos. O VMDa é o conceito de volume de tráfego de maior importância para diferentes estudos.

Outro elemento relevante para a caracterização dos estudos é a extensão de trecho ou raios de análise de acidentes, de modo a verificar até que distância o equipamento tem influência na redução dos acidentes. O mesmo se aplica ao período de estudo, em que é definida a quantidade de anos antes e depois da intervenção.

A respeito dos raios ou extensão de trecho de avaliação, Carneiro *et al.* (2004) afirmam, em seus estudos que o raio de influência do equipamento é de, aproximadamente, 150 metros antes ou após o equipamento do tipo fixo (p. ex. CEV's), uma vez que as velocidades registradas nessa área foram inferiores à regulamentada para a via. Porém é possível observar uma grande variação na definição desse parâmetro no delineamento dos estudos. Como pode ser visto nos Quadros 2.1 e 2.2, os pesquisadores utilizaram diferentes raios como, por exemplo, o de Newstead & Cameron (2003) - 0 km a 2 km, 2km a 4km e 4km a 6km e Yamada (2005) – 2 km com raios maiores e Hess (2004) – 250 m a partir do equipamento, 500m, 1000 m e 2000 m, com raios intermediários. Observa-se que a variação das extensões de avaliação visa identificar os comprimentos com maiores reduções no número de acidentes.

A respeito do período de estudo mais adequado, a AASHTO (2010) recomenda a utilização de 3 a 5 anos de dados de acidentes tanto para o “antes” quanto para o “depois” devido à aleatoriedade da ocorrência de acidentes. De toda forma, quanto maior o período de observação de dados, melhores podem ser as análises para interpretação do comportamento dos acidentes. O mesmo período é recomendado para a obtenção dos dados de volumes de tráfego, ou seja, recomenda-se adotar dados de pelo menos 3 anos para o período anterior assim como para o posterior.

Outros aspectos também foram citados, como a Teoria da Dissuasão no estudo de Carnis & Blais (2013), no qual afirmam que a efetividade esperada do programa de controle de velocidade implementado na França se baseia nos três pilares dessa teoria que são, a certeza, a celeridade e a severidade da punição. Quanto à certeza, o programa precisa de um número suficientes de equipamentos medidores de velocidade para que se tenha uma maior

probabilidade de detecção e punição. Quanto à celeridade, as multas devem ser enviadas ao proprietário em menos de oito dias após a infração. E quanto à severidade da punição, são considerados a dedução de pontos na carteira e os valores referentes às multas.

## **2.3 TÓPICOS CONCLUSIVOS**

É sabido que os acidentes de trânsito são uma das principais causas de morte em todo o mundo. A OMS, em suas publicações relacionadas à segurança viária, frequentemente traz essa informação, o que é preocupante, mesmo tomando-se medidas que visam reduzir essas mortes. Sabe-se também que a velocidade é um dos principais fatores de risco para a ocorrência de um acidente e que a fiscalização eletrônica de velocidade pode ser uma das intervenções com objetivo de controlá-la e conseqüentemente reduzir a quantidade de mortos e feridos nas rodovias.

A OPAS (2008) também ressalta que os equipamentos de fiscalização eletrônica podem ser uma ferramenta eficiente e de custo relativamente baixo para o monitoramento da velocidade. Eles dão coerência à fiscalização, pois reduzem o uso de critérios individuais pela polícia e eliminam os pontos de abordagem para autuações por infrações de trânsito, o que reduz a possibilidade de práticas arbitrárias de fiscalização.

Para subsidiar o presente estudo foram revisados trabalhos nacionais e internacionais, que propuseram a avaliação do efeito da fiscalização eletrônica nos acidentes de trânsito, cujas principais conclusões e particularidades mais relevantes, são:

- Os equipamentos destinados à fiscalização eletrônica são denominados medidores de velocidade, e podem ser dos tipos fixo, estático, móvel e portátil. Os equipamentos do tipo fixo são os mais comuns nos estudos revisados.
- A metodologia “antes-e-depois” foi a mais aplicada para avaliar os efeitos desses equipamentos. E a partir disso, foram selecionados os métodos mais adequados para cada um dos estudos.

- Observou-se ainda que a maioria dos estudos utilizou um período de pelo menos 1 ano antes e depois da instalação/operação dos equipamentos, e que os raios de análise variaram de 250 m até 6 km.
- As reduções de acidentes e/ou de mortos e feridos mais significativas foram identificadas nas áreas mais próximas aos equipamentos – geralmente 250 metros de raio. Nas demais distâncias – em geral, na ordem de 500m, 750m e 1000m – observou-se que o efeito do equipamento diminuiu, ou seja, as velocidades e a acidentalidade foram maiores.
- Foi possível observar a redução na severidade dos acidentes (feridos e mortos) na maioria dos resultados dos estudos revisados, entretanto, para alguns autores esses resultados não foram significativos.
- Foram encontrados outros estudos com as mais diferentes delimitações de estudo, passando por tipo de equipamentos escolhido, o tipo de acidente considerado, os tipos de pista, etc. Essas delimitações foram empregadas para subsidiar a escolha do método mais adequado, conforme foi observado. Entretanto, aquele recomendado pela AASHTO (2010) – estudo observacional antes/depois – no qual compara locais tratados (caso) com locais não tratados (controle) destacou-se como uma metodologia relevante a ser adotada nesta pesquisa, uma vez que em geral viabilizam resultados mais confiáveis e também por não terem sido encontradas abordagens similares no Brasil.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

O Capítulo 2 trouxe referências importantes a respeito da avaliação da fiscalização eletrônica de velocidade. As especificidades apresentadas tais como o tipo de acidente considerado ou o tipo de equipamento a analisar ajudam a direcionar que materiais serão incorporados e qual o método mais adequado de modo a alcançar os objetivos propostos para essa pesquisa. Devido à diversidade de meios – tanto em manuais, como em artigos e na própria estatística – foram selecionados 3 métodos a fim de comparar resultados ao final da aplicação. As etapas para consolidação da base de dados (materiais) e os 3 métodos selecionados são descritos ao longo deste Capítulo.

#### **3.1 MATERIAIS**

Os materiais necessários ao desenvolvimento do estudo consistem de dados obtidos de modo secundário junto a bancos de dados do Sistema de Operações Rodoviárias (SIOR), plataformas do Plano Nacional de Controle de Velocidade (PNCV) e do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), e do sistema *Google Earth*<sup>®</sup> (Figura 3.1). A seleção dos dados é proposta em 3 etapas, conforme segue:

Etapa 1: Descrição das bases de dados

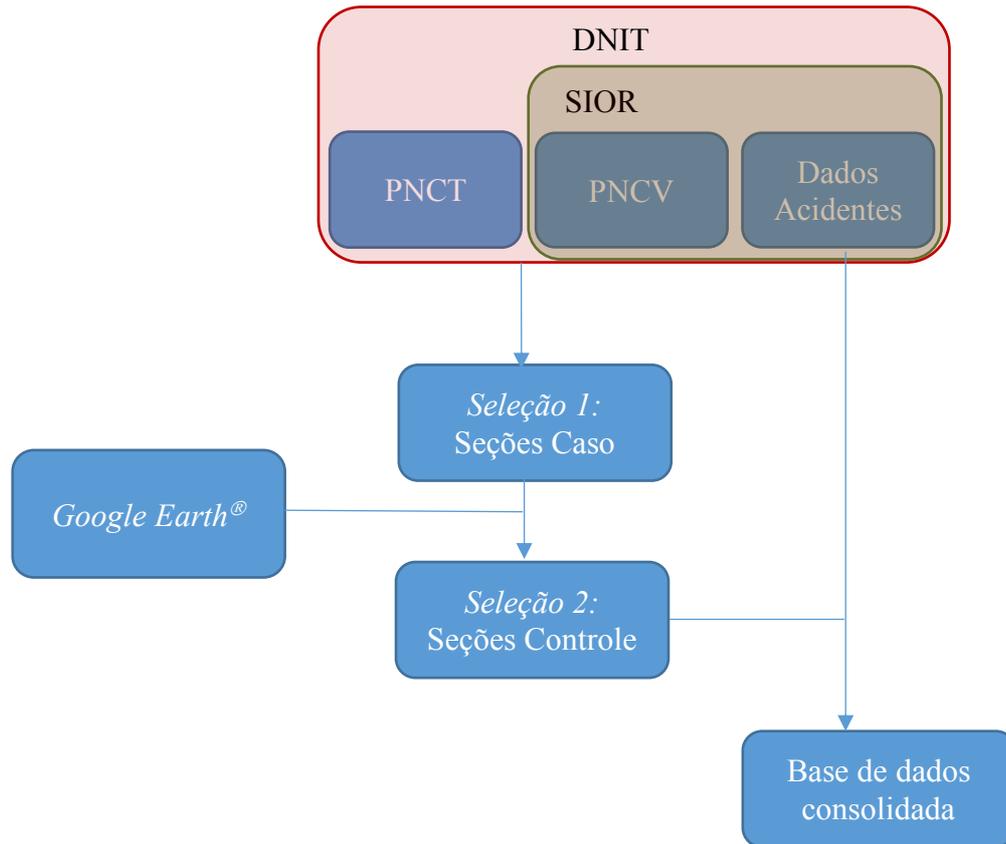
Etapa 2: Identificação e seleção de equipamentos medidores de velocidade

Etapa 3: Levantamento de dados

3.1 – Verificação da disponibilidade de VMDa;

3.2 – Caracterização de locais tratados (casos) e dos locais sem tratamento correspondentes (controle);

3.3 – Levantamento do número de acidentes nos trechos de observação (caso e controle).



**Figura 3.1** Esquema metodológico de consolidação da base de dados

#### *Etapa 1: Descrição das bases de dados*

Dados de acidentes precisos e detalhados, dados de inventário de rodovias ou interseções e dados de volume de tráfego são essenciais para realizar análises confiáveis de acidentes (AASHTO, 2010). Dessa forma, a primeira etapa corresponde à escolha das fontes de dados necessárias à seleção dos equipamentos e dos dados correlatos aos equipamentos (data de início da operação, períodos de inatividade) e ao local de instalação destes (características de seção transversal, características da área lindeira, volume de tráfego). Uma vez que o objetivo é a análise do impacto dos CEV nos acidentes em rodovias federais, as fontes de dados devem estar contidas em órgão de gestão rodoviária federal, no caso o DNIT. O órgão dispõe de dados gerenciais referentes à operação dos CEV's do PNCV registrados no sistema SIOR, dados de tráfego da base de dados aberta da plataforma PNCT e dados de acidentes oriundos de levantamentos da Polícia Rodoviária Federal e carregados do SIOR. Para além desses dados, informações de seção transversal e ocupação da área lindeira foram obtidas a partir de imagens do sistema *Google Earth*<sup>®</sup>, as quais foram utilizadas para identificação das seções de controle.

## *Etapa 2: Identificação e seleção de equipamentos medidores de velocidade.*

Esta etapa inclui os critérios para seleção dos equipamentos com objetivo de delimitar o estudo. Serão selecionados, em cada fonte de dados, segundo os critérios pré-definidos, o tipo de equipamento a ser incluído e suas características operacionais. Ao final dessa etapa, será apresentado o quantitativo de locais tratados (que possuem equipamentos), pré-selecionados, e que serão submetidos às demais etapas.

## *Etapa 3: Levantamento de dados*

Esta etapa visa o levantamento de dados de volume de tráfego, características do entorno das seções dos equipamentos e dados de acidentes de trânsito para esses trechos. Ao final dessa etapa tem-se um conjunto de trechos rodoviários controlados e fiscalizados por CEV e um conjunto de trechos controle.

### *Etapa 3.1: Verificação da disponibilidade de Volume Médio Diário Anual - VMDa*

Nessa etapa é feita a verificação no PNCV para cada equipamento selecionado na Etapa 2 quanto à disponibilidade de dados de volume de tráfego (VMDa). Os equipamentos sem dados de volume são excluídos da amostra e os equipamentos restantes compõem o conjunto denominado “pontos de tratamento”.

### *Etapa 3.2: Caracterização dos pontos de tratamento, definição e caracterização de pontos de controle e VMDa para pontos de tratamento e de controle*

Os locais que possuem equipamentos e que foram selecionados até aqui foram denominados pontos de tratamento. Isso significa que, neles, ocorreu uma medida de intervenção, neste caso, a instalação de medidores de velocidade com o objetivo de reduzir os acidentes de trânsito naquele local. Como mencionado em AASHTO (2010), as avaliações de efetividade devem ser realizadas considerando um par composto pelo ponto tratado, e um similar (em termos geométricos e operacionais) denominado ponto de controle.

Quanto ao aspecto operacional, é fundamental considerar os dados de volume de tráfego. Em situações nas quais não há disponibilidade do volume de tráfego, o DNIT (2006) recomenda adotar uma taxa de crescimento anual de 3%, próxima da taxa de crescimento econômico do

país como um todo, o que resulta em uma função exponencial. Essa taxa deve ser aplicada para calcular o VMDa quando for conveniente, assim como a utilização do Método do Fator de Crescimento, por meio do qual o tráfego futuro é determinado pela aplicação de um fator de crescimento aos dados de tráfego conhecidos. O Manual (DNIT, 2006) cita a seguinte Equação 3.1 para o cálculo.

$$T_f = F_c T_a \quad (3.1)$$

Em que:

$T_f$  = tráfego futuro;

$F_c$  = fator de crescimento;

$T_a$  = tráfego conhecido em um determinado ano.

### *Etapa: 3.3: Número de acidentes de trânsito com vítimas*

Esta etapa consiste da consolidação dos dados de acidentes, para um dado tipo ou gravidade, e da definição do raio de estudo, ou seja, a extensão do trecho de análise para cada ponto. Deve-se extrair da fonte de dados, o máximo de informações possível sobre os acidentes, tais como: data da ocorrência, nome da rodovia, km, tipo de acidente, gravidade do acidente, etc. Quanto à gravidade, os acidentes são classificados em sem vítimas, quando há apenas danos materiais, e acidentes com vítimas, resultando em mortos e/ou feridos. Em função dos procedimentos mais recentes para a coleta de dados de acidentes sem vítimas, que atribuem a responsabilidade de registro de Boletins de Ocorrência aos envolvidos, sabe-se que há como consequência, subnotificação destes. Dessa forma, torna-se mais seguro, avaliar a efetividade em relação aos acidentes com vítimas.

## **3.2 MÉTODOS**

Segundo Hess (2004), salvo algumas exceções notáveis, as análises de acidentes de trânsito geralmente não utilizam métodos estatisticamente sólidos e frequentemente ignoram a influência que outros fatores dependentes de tempo, como a sazonalidade, podem ter sobre os números de acidentes. Da mesma forma, os efeitos da regressão à média são, muitas vezes,

ignorados. O autor comenta ainda que, um grande erro cometido em estudos de natureza menos matemática, é a simples comparação do número de acidentes em períodos anteriores à instalação do equipamento com o número obtido em períodos posteriores.

Quanto ao fenômeno de regressão a média, a AASHTO (2010) menciona que a flutuação dos acidentes ao longo do tempo torna difícil determinar se as alterações na frequência de acidentes observadas se devem a alterações nas condições do local ou se são devidas a flutuações naturais. Quando um período com uma frequência de acidentes alta é observado, é estatisticamente provável que o período seguinte seja seguido por uma frequência baixa. É, portanto, uma tendência esperada em locais tratados.

Se uma avaliação observacional do tipo antes/depois for conduzida sem considerar um ponto de controle, a avaliação pode não compensar o efeito de regressão à média (AASHTO, 2010). Em estudos de avaliação de efetividade, FHWA (2016) ressalta a necessidade de um ponto de controle e um ponto de tratamento para que não ocorra o fenômeno da regressão à média enviesada, isto é, tendenciosa. Ou seja, devido à flutuação natural dos acidentes, pode ser que um local com uma frequência alta de acidentes apresente em seguida uma frequência baixa que pode ter acontecido simplesmente pelo comportamento aleatório dos acidentes e não necessariamente pela introdução de uma intervenção, como por exemplo, um equipamento de fiscalização eletrônica. Se a regressão à média for ignorada, o efeito do tratamento será normalmente superestimado, uma vez que, para a maioria dos locais, o efeito de tendência e regressão será uma redução nos acidentes num período de tempo subsequente, mesmo sem o tratamento (Mountain *et al.*, 2004).

Este trabalho propõe uma abordagem do tipo observacional antes/depois a fim de avaliar os efeitos dos controladores eletrônicos de velocidade. A série histórica de acidentes de trânsito e de volume de tráfego adotada segue a recomendação da literatura. Da mesma forma, os métodos escolhidos consideram um grupo de controle para o grupo tratado, exceto o teste *t* de Student. Os 3 procedimentos selecionados para realizar as avaliações são apresentados nos subtópicos seguintes.

### **3.2.1 Metodologia DNER (1998)**

O método considera que para cada ponto tratado (local com a intervenção) deve-se selecionar um ponto de controle, similar em termos geométricos e operacionais. A análise deve ser realizada antes e após a implantação do equipamento considerando a soma ponderada de acidentes. Na Tabela 3.1, os índices  $a$ ,  $d$ ,  $A$  e  $D$  representam a soma ponderada dos acidentes ocorridos nos respectivos locais.

**Tabela 3.1** Índices para soma ponderada

<b>PONTO</b>	<b>ANTES</b>	<b>DEPOIS</b>
Ponto de Tratamento	$a$	$d$
Ponto de Controle	$A$	$D$

Para realizar a soma ponderada, DNER (1998) sugere pesos para cada tipo de acidente conforme segue:

- Acidentes sem vítimas nem feridos = peso 1,00
- Acidentes com feridos = peso 3,00
- Acidentes com mortes = peso 9,00.

O efeito do tratamento, então, é estimado pela seguinte razão instituída na Equação 3.2.

$$r = (d \times A) / (a \times D) \quad (3.2)$$

Para analisar o resultado, quanto mais próximo de 1, menos efetivo foi o tratamento. Uma vez que o número de acidentes é uma variável aleatória, também a razão  $r$  seguirá um comportamento estocástico. Por se tratar de uma razão,  $r$  está limitado à esquerda e a sua distribuição característica é assimétrica, ou seja, não segue o modelo normal. Para eliminar a assimetria, é prática comum na literatura trabalhar com o logaritmo de  $r$ , o qual apresenta uma distribuição que se aproxima da normal (DNER, 1998).

Dessa forma,  $\lambda$  representa o logaritmo de  $r$  como a nova fórmula para avaliar a efetividade, na Equação 3.3.

$$\lambda = \ln \left[ \frac{d \times A}{a \times D} \right], \text{ para } a, d, A \text{ e } D \neq 0 \quad (3.3)$$

O valor negativo de  $\lambda$  significa a redução no número/gravidade dos acidentes. Por  $r$  e  $\lambda$  serem variáveis aleatórias estão sujeitas à variabilidade. A variância de  $\lambda$  é estimada a fim de construir intervalos de confiança e testar hipóteses. Com  $v$  limitado a 2 e desvio padrão  $s = \sqrt{v}$ .

É assim, possível testar as hipóteses e estabelecer intervalos de confiança para  $\lambda$  (Equação 3.4).

$$v = \frac{1}{(a+1)} + \frac{1}{(A+1)} + \frac{1}{(d+1)} + \frac{1}{(D+1)} \quad (3.4)$$

$H_0: \lambda = 0$ , é o caso quando  $r = I$  (não ocorreu alteração na acidentalidade)

$H_1: \lambda < 0$

Se a hipótese nula puder ser rejeitada (em um certo nível de significância), houve efetividade do tratamento. Uma vez que a distribuição de  $\lambda$  deve seguir, aproximadamente, o modelo normal, para testar  $H_0$ , usa-se a variável reduzida  $z$  (Equação 3.5).

$$z = \lambda/s \quad (3.5)$$

E por fim,  $H_0$  será rejeitada quando  $z$  for inferior ao tabelado  $z_\alpha$  para um certo nível de significância. Quanto a isso, o manual DNER (1998) recomenda utilizar um nível de significância de 10%.

### 3.2.2 Metodologia Vadeby & Forsman (2018)

Vadeby & Forsman (2018) analisaram o efeito da mudança de limite de velocidade na segurança viária de rodovias na Suécia. Os efeitos da mudança foram analisados por meio de um estudo antes/depois utilizando um grupo de controle. Para isso foram utilizados o número de acidentes com mortos e feridos antes e depois dos novos limites de velocidade. Os autores mencionam que o grupo de controle são locais semelhantes, mas não uma correspondência exata. Esse estudo incorporou, além de dados de acidentes, o volume de tráfego antes e depois da intervenção. A mudança entre os períodos antes-depois é estimada pela Equação 3.6.

$$\theta = c.k.\frac{\Sigma Y}{\Sigma X} \quad (3.6)$$

Em que:

$c$  = razão de veículos x km percorrido entre o período posterior e anterior, no ponto tratado;

$k$  = razão entre acidentes depois e antes da intervenção, no ponto controle;

$X$  = número de acidentes no período anterior, no ponto tratado;

$Y$  = número de acidentes no período posterior, no ponto tratado.

Em seguida, estima-se a variância, com um nível de confiança de 95% (Equação 3.7).

$$Var(\theta) = \left(ck\frac{\Sigma Y}{\Sigma X}\right)^2 \left(\frac{1}{\Sigma X} + \frac{1}{\Sigma Y}\right) \quad (3.7)$$

$$IC = \theta \pm 1,96 \times \sqrt{Var(\theta)} \quad (3.8)$$

Esse modelo controla as mudanças na tendência geral de segurança de tráfego (número de acidentes) e na de volume de tráfego, mas não corrige a regressão à média. O cálculo de um dos casos é apresentado passo-a-passo, sendo os demais casos apresentados em tabelas nos resultados finais.

### 3.2.3 Teste $t$ de Student

O teste  $t$  de Student foi escolhido por ser comumente utilizado para avaliar as diferenças entre as médias de dois grupos, como o caso de estudos para avaliar o efeito de intervenções. Ele pode ser empregado para amostras pareadas ou independentes, sendo apropriado para comparar dois conjuntos de dados quantitativos, em termos de seus valores médios (ZAR, 2010). Entretanto por se tratar de um teste paramétrico, é necessário fazer um teste de normalidade dos dados antes a fim de identificar se estes seguem uma distribuição normal. Só então pode-se utilizar o teste paramétrico  $t$  de Student na análise.

Dentre os testes comumente utilizados, os de Shapiro-Wilk (SW) e Kolmogorov-Smirnov (KS) estão disponíveis em *softwares* estatísticos como o *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS), apesar de existirem na literatura mais de 40 testes de normalidade (RAZALI & WAH, 2011). Para este estudo, foi selecionado o teste Shapiro-Wilk (SW) para testar a normalidade

dos dados. Após confirmar a normalidade, o teste  $t$  para amostras pareadas deve ser aplicado conforme os passos a seguir.

As hipóteses do teste, para esta pesquisa, são as seguintes:

$H_0: \Delta = 0$  (o equipamento não teve efeito)

$H_1: \Delta < 0$  (o equipamento foi efetivo na redução da severidade)

A estatística do teste baseia-se nos valores observados da variável  $D$  (Equação 3.9), definida pela diferença de valores em cada par. Em estudos tipo antes-depois (ZAR, 2010):

$$D = (\text{Medida Depois}) - (\text{Medida Antes}) \quad (3.9)$$

A estatística do teste é dada, então, por:

$$t = \frac{\Delta\sqrt{n}}{s} \quad (3.10)$$

Em que:

$\Delta$  = média das diferenças, valor que se deseja testar.

$D$  = diferença (depois-antes).

$n$  = tamanho das amostras (neste caso corresponde ao número de pares ordenados).

$S$  = desvio padrão das diferenças internas dos pares.

$$S = \sqrt{\frac{\sum D^2 - n\Delta^2}{n - 1}} \quad (3.11)$$

$D$  seguindo uma distribuição normal, a estatística do teste  $t$  segue uma distribuição  $t$  de Student com  $gl = n - 1$  graus de liberdade.

## **4 RESULTADOS E ANÁLISE**

O presente Capítulo traz o detalhamento e a aplicação do procedimento definido no Capítulo 3, os resultados e análises. Para tanto, está estruturado em conformidade com os passos definidos na metodologia.

### **4.1 DELINEAMENTO DOS CENÁRIO DE ANÁLISE**

#### **4.1.1 Descrição das bases de dados**

O Serviço Integrado de Operações Rodoviárias – SIOR, que é uma plataforma que acomoda dados de diversos programas do DNIT, reúne informações dos equipamentos medidores de velocidade tais como: o código de identificação, a unidade de federação, o município, a rodovia, a localização do equipamento (km e coordenadas geográficas), a velocidade regulamentada no trecho, a quantidade de faixas que o equipamento fiscaliza e o seu sentido (crescente ou decrescente), o tipo de equipamento e o seu *status* atual (em operação, cancelado ou paralisado). Essa plataforma foi utilizada para seleção e caracterização dos medidores e para coleta de dados de acidentes.

Os dados de contagem de tráfego, ou VMDa, foram obtidos na plataforma de dados abertos do DNIT que traz dados do Plano Nacional de Contagem de Tráfego – PNCT. Segundo o DNIT (2018a), o PNCT consiste de um plano sistematizado de contagem de tráfego permanente nas rodovias federais iniciado em 1975 e interrompido em 2011. Em 2014 as contagens foram retomadas com um total de 320 postos de contagem contínua de tráfego, instalados em local permanente, em todo o Brasil. Além disso, a fase atual do PNCT inclui dados de Pesquisas Origem e Destino – O/D, que possuem duração de 7 dias, que foram realizadas pelo exército nos anos de 2016 e 2017, com o objetivo de expandir as informações do tráfego para toda a malha rodoviária federal. Portanto, a coleta de tráfego nas rodovias federais é realizada tanto por postos de contagem contínua como por pesquisas O/D (Figura 4.1).



(a) Posto de contagem contínua



(b) Pesquisa Origem/Destino

**Figura 4.1** Coleta de dados para o PNCT

Fonte: DNIT (2015b).

#### 4.1.2 Identificação e seleção de equipamentos medidores de velocidade

O SIOR possui dados de 3 tipos de medidores de velocidade utilizados no PNCV. São eles os controladores eletrônicos de velocidade - CEV, os redutores eletrônicos de velocidade - REV e os controladores eletrônicos mistos - CEM. O CEV foi o tipo de medidor selecionado para o estudo por possuir caráter de fiscalização mais discreto do que os demais. Dessa forma, a partir de filtragem por tipo de equipamento no SIOR, tipo CEV, obteve-se um total de 2.604 equipamentos.

Uma vez que os equipamentos iniciaram a operação em 2011 e, nos anos seguintes, mais equipamentos foram instalados, foi necessário definir quais os anos de operação deveriam ser incluídos nesta pesquisa. Assim como Høye (2015) e Newstead & Cameron (2003) definiram em seus estudos, adotou-se o período de 6 anos completos. Ou seja, foram analisados os acidentes no período de 3 anos antes e 3 anos após a data de início de operação do equipamento. Assim, do total de 2.604, foram selecionados aqueles com início de operação entre 01/01/2011 a 30/06/2015. A definição do período deu-se de modo a abranger os primeiros equipamentos instalados até aqueles que, na época de sua seleção, viabilizassem o período de 3 anos de operação – um dos períodos recomendado pela AASHTO (2010). Dessa forma, aqueles instalados em 30/06/2015 teriam dados disponíveis para 3 anos depois (até 30/06/2018).

E, por último, dentre esses com operação de 2011 a 2015, foram eliminados aqueles que permaneceram inativos em um intervalo superior a 30 dias. Chegou-se assim, ao total de 852

CEV's, com operação entre 2011 e 2015 e com menos de 30 dias de período inativo com as seguintes características:

- i. Pista Simples: 1C, 1C/1D ou 1D (fiscaliza 1 faixa de trânsito em 1 sentido ou em ambos);
- ii. Pista Simples: 1C/2D ou 2C/1D (fiscaliza as 3 faixas de trânsito);
- iii. Pista de Multi-faixas: 2C/2D (fiscaliza as 4 faixas de trânsito);
- iv. Pista Dupla com 2 faixas por sentido: 2C, 2C/2D ou 2D (fiscaliza 2 faixas de trânsito em 1 sentido ou em ambos).

#### **4.1.3 Levantamento de dados**

##### *a) Verificação da disponibilidade de Volume Médio Diário Anual – VMDa*

A plataforma utilizada para essa etapa foi a do PNCT. Uma vez que as atividades de coleta de tráfego foram retomadas em 2014, os valores de VMDa estavam disponíveis também a partir de 2014. De modo a priorizar os dados reais, eliminou-se, dos 852 locais, aqueles que tinham data de operação anterior a 2014. Esse foi um fator limitante, pois eliminou muitos equipamentos.

Dos 852 equipamentos, foram incluídos apenas aqueles com ano de operação a partir de 2014, totalizando 179 equipamentos. Desses, foram selecionados somente aqueles que fiscalizavam todas as faixas da rodovia na configuração 2C/2D e 1C/1D, pista dupla e pista simples, respectivamente, restando, portanto, 98 equipamentos. Para estes, foi verificada a disponibilidade de dados de VMDa. Sobrepondo o mapa dos CEV's ao mapa de postos de contagem contínua e pesquisa O/D, aplicou-se um raio de distância de 30 km a fim de localizar que postos estavam a, no máximo, 30 km de distância do CEV. Foram identificados postos 26 de contagem contínua e 19 de pesquisa O/D que atendem a localidade de 45 equipamentos CEV.

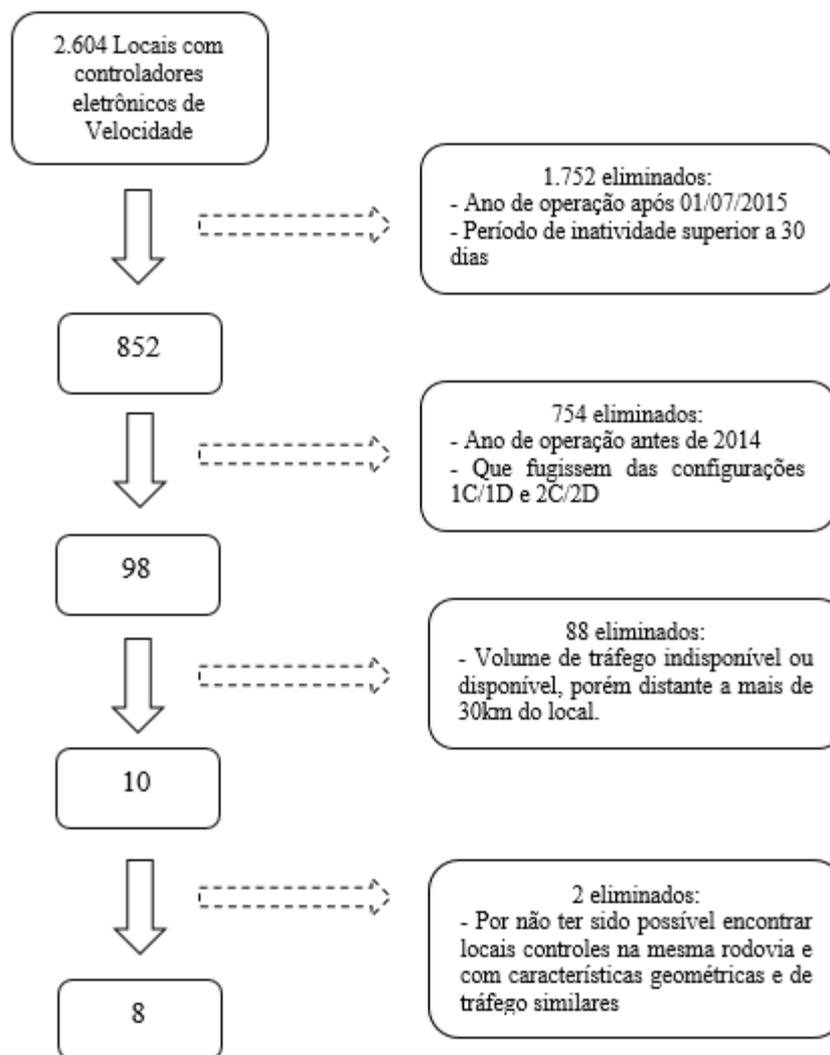
Destes, optou-se por incluir apenas os postos de contagem contínua, uma vez que para a maioria deles foram encontrados VMDa para os anos de 2014, 2015, 2016 e 2017, sendo que os postos de pesquisa O/D só possuíam dados referentes ao ano de 2017. Dessa forma, restaram 26 postos de contagem contínua a uma distância máxima 30 km dos CEV's.

Dos 26 postos de contagem, 3 foram eliminados por não possuírem dados de VMDa, provavelmente por terem sido instalados recentemente. De modo a reduzir os erros associados ao volume de tráfego do ponto de estudo, foi analisado se posto de contagem e o CEV mais próximo pertencem à mesma rodovia. Nessa análise foram eliminados mais 13 equipamentos finalizando essa etapa com 10 locais com controladores eletrônicos de velocidade em pista simples (1C/1D) com VMDa disponíveis.

*b) Definição de locais controle, caracterização de locais tratados e controles e VMDa para ambos.*

Para cada um dos 10 locais que possui equipamento CEV, denominados pontos de tratamento, buscou-se um local similar, geométrica e operacionalmente para ser o ponto de controle correspondente. Estes pontos foram selecionados na mesma rodovia do ponto tratado, à aproximadamente 40 km de distância, à montante ou à jusante, de modo a possuírem o mesmo VMDa.

Assim realizado, 2 locais foram eliminados por não atenderem às condições de. Ao final desse processo foi possível obter 8 pontos de tratamento e 8 pontos de controle. A Figura 4.2 ilustra o processo de seleção dos 16 pontos de estudo e as Tabelas 4.1 e 4.2 trazem o resumo das características dos 8 pontos tratados (com equipamentos) e dos 8 pontos de controle, respectivamente.



**Figura 4.2** Resumo do processo de seleção de dados

**Tabela 4.1** Características gerais dos equipamentos incluídos no estudo – pontos tratados

Ponto Tratado (PT)	BR	Km	V (km/h)	Urbano/Rural	Operação	UF	Município
PT1	101	109,590	60	U	07/06/2014	BA	Alagoinhas
PT2	116	411,740	60	U	07/08/2014	BA	Feira de Santana
PT3	116	415,900	40	U	07/08/2014	BA	Feira de Santana
PT4	251	482,700	60	U	01/09/2014	MG	Francisco Sá
PT5	153	336,000	60	U	02/09/2014	PR	Irati
PT6	405	137,100	50	U	30/07/2014	RN	São Francisco do Oeste
PT7	282	73,000	60	R	05/09/2014	SC	Rancho Queimado
PT8	470	251,600	80	R	16/09/2014	SC	Curitibanos

**Tabela 4.2** Características gerais – pontos de controle

Ponto Controle	BR	Km	V (km/h)	Urbano/Rural	UF	Planimetria	Acostamento
PC1	101	98,79	60	U	BA	Reta	Sim
PC2	116	403,34	60	U	BA	Reta	Sim
PC3	116	404,00	40	U	BA	Reta	Sim
PC4	251	523,70	60	U	MG	Reta	Sim
PC5	153	303,00	60	U	PR	Reta	Sim
PC6	405	110,10	50	U	RN	Curva Suave	Não
PC7	282	52,30	60	R	SC	Curva Acentuada	Sim
PC8	470	275,40	80	R	SC	Reta	Sim

Em seguida para cada um dos pontos de tratamento e o correspondente ponto de controle, foi realizada uma descrição contendo tipo de ocupação no local, a identificação de interseções, a geometria do entorno do equipamento, dentre outros aspectos. Essa descrição objetiva caracterizá-los fornecendo informações relevantes às análises dos resultados.

As características dos pontos de estudo foram obtidas por meio de observação via *Google Earth*<sup>®</sup> para cada ano, antes e após o início da operação do CEV. Os pontos foram localizados no *Google* pela coordenada geográfica do ponto de tratamento obtida nos registros do CEV no sistema SIOR. A partir do ponto de tratamento, foram definidos os pontos de controle. Nessa análise foi considerado, também, o sentido do ponto selecionado, se crescente ou decrescente na rodovia. As descrições dos 16 pontos de estudos estão disponíveis no Apêndice F deste documento.

A Tabela 4.3 traz os VMDa, obtidos da base PNCT, para os pontos estudados, identificados pelo ponto de tratamento. O VMDa para cada ponto consiste da soma dos volumes em ambos os sentidos (crescente e decrescente).

**Tabela 4.3** Volume Médio Diário anual (VMDa), em ambos os sentidos

Ponto de Tratamento	VMDa/2017	VMDa/2016	VMDa/2015	VMDa/2014
PT1	12.607	12.162	12.707	-
PT2	-	19.982	21.414	-
PT3	-	19.982	21.414	-
PT4	9.917	9.549	10.219	10.909
PT5	2.028	1.961	1.829	-
PT6	2.941	2.802	2.668	2.710
PT7	8.682	8.422	7.869	-
PT8	7.310	-	-	-

Como o período de estudo considerado é de 3 anos antes e 3 anos após o início da operação dos equipamentos, é necessário consolidar os VMDa dos anos 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 e 2017. Como observado na Tabela 4.3, para alguns equipamentos não foram encontrados esses dados. Dessa forma, foi necessário estimar esses volumes, o que foi feito conforme o procedimento do DNIT (2006), descrito na Seção 3.2.

A estimativa de tráfego para uma taxa de crescimento de 3% ao ano foi calculada para o VMDa de anos anteriores a 2017 do equipamento. Para os pontos PT2 e PT3, por apresentarem decréscimo de volume de tráfego de 2015 para 2016, aplicou-se a mesma taxa de crescimento (3% a.a.) no VMDa de 2016 e em seguida aplicou-se a taxa de decréscimo para anos anteriores a 2015. Esse procedimento foi adotado a fim de que todos os volumes de tráfego tivessem um crescimento de 3% por ano.

Dessa maneira, calculou-se o fator de crescimento de cada equipamento por meio da razão  $T_f/T_a$  com dados de VMDa de 2017 ( $T_f$ ) e 2016 ( $T_a$ ). Em seguida, calculou-se os tráfegos de anos anteriores considerando o fator de crescimento obtido. A Tabela 4.4 resume os VMDa no PNCT (não sombreados) e estimados (sombreados), e o fator de crescimento calculado ( $F_c$ ).

**Tabela 4.4** VMDa disponíveis e estimados

Pontos de tratamento	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	Fc
PT1	12.607	12.162	12.707	12.258	11.826	11.408	11.006	1,0365894
PT2	20.581	19.982	21.414	20.790	20.185	19.597	19.026	1,0300000
PT3	20.581	19.982	21.414	20.790	20.185	19.597	19.026	1,0300000
PT4	9.917	9.549	10.219	10.909	10.504	10.114	9.739	1,0385381
PT5	2.028	1.961	1.829	1.769	1.710	1.654	1.599	1,0341662
PT6	2.941	2.802	2.668	2.710	2.582	2.460	2.344	1,0496074
PT7	8.682	8.422	7.869	7.633	7.405	7.183	6.968	1,0308715
PT8	7.310	7.097	6.890	6.690	6.495	6.306	6.122	1,0300000

A partir dos dados disponíveis e estimados, ao final dessa seção a base de dados consolidada contém:

- 8 pontos tratados (com equipamento) e 8 pontos controles (sem equipamento).
- VMDa (disponível e estimado): é o mesmo para os pontos de tratamento e de controle.
- Pontos tratados e controles na mesma rodovia e próximos do Contador contínuo (Figura 4.3)

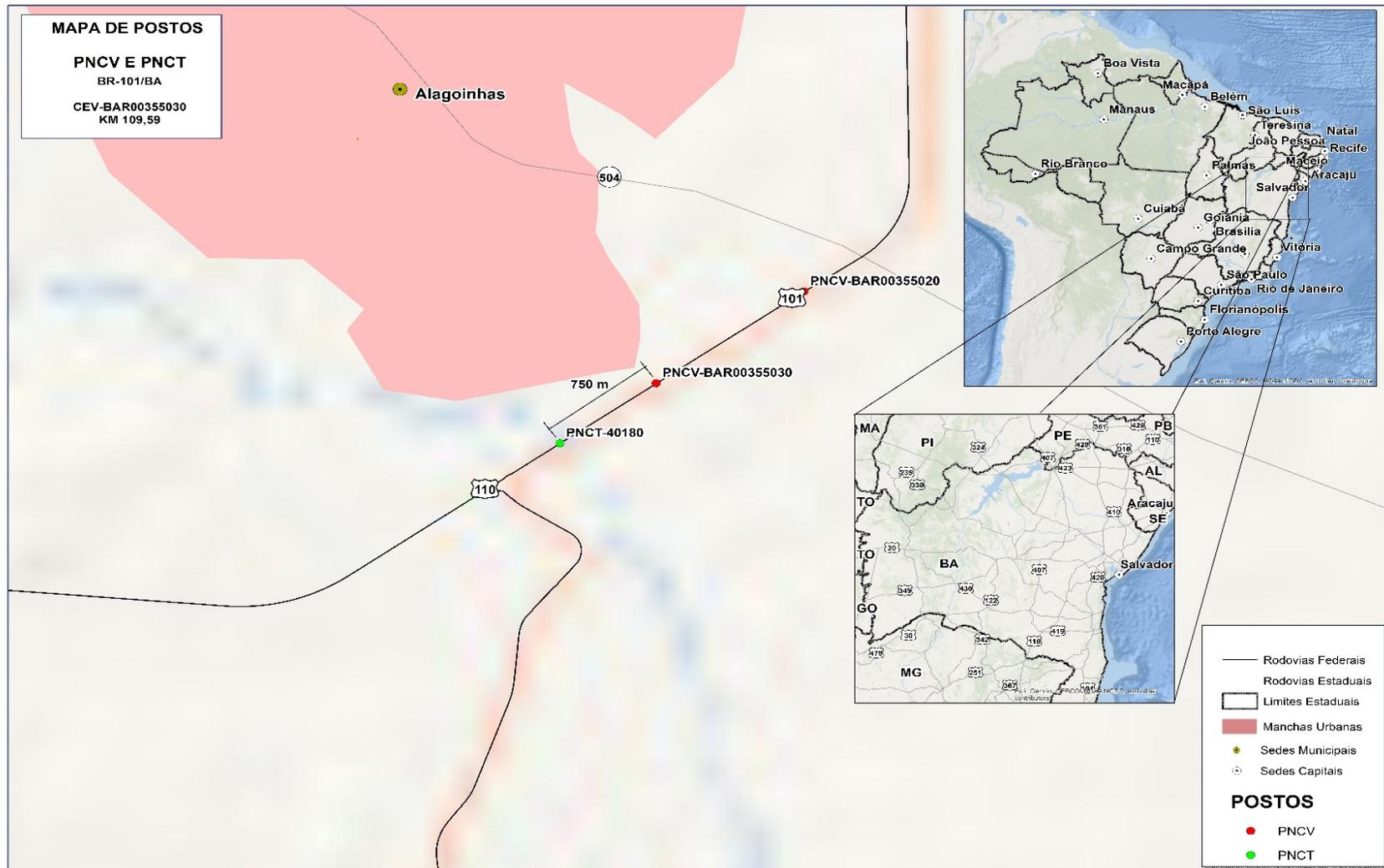
a) *Número de acidentes de trânsito com vítimas*

Os dados de acidentes com vítimas (mortas e feridas) foram obtidos da plataforma SIOR para os pontos de tratamento e de controle. Assim como definido na literatura, foi definido o intervalo de avaliação, ou influência do equipamento, para a identificação dos acidentes que compõem a amostra. A definição foi apoiada nos estudos de Carneiro *et al.* (2004) e Newstead & Cameron (2003) e Yamada (2005). Carneiro *et al.* (2004) conclui que a influência do equipamento fica em torno de 150 metros. Newstead & Cameron (2003) estudaram os raios de 2, 4 e 6 km do equipamento e concluíram que o primeiro concentrava os melhores resultados na redução de acidentes e gravidade. Finalmente, Yamada (2005), que também adotou 2 km como um de seus raios de estudo. Dessa forma, a proposta inicial desse estudo é para a análise de 150 a 2000 metros.

Entretanto, os acidentes são registrados pela PRF em intervalos múltiplos de 100 m e localização dada em km (quilometro). Somente a partir de 2017 os registros de acidentes passaram a trazer as coordenadas geográficas. Como o raio de 150m poderia influenciar significativamente os resultados por ser um raio pequeno e múltiplo de 50, adotou-se o raio de 2000 metros, à montante e à jusante, dos pontos tratado e de controle, totalizando um segmento com 4 km de extensão.

Assim, para cada ponto tratado (8 locais) foi feito o levantamento dos acidentes com vítimas – mortos e feridos – ocorridos no segmento de 4 km de extensão, ou seja, 2km antes do equipamento e 2km após o equipamento. O mesmo foi realizado para os pontos de controle. Além disso, considerou-se todos os acidentes ocorridos no período de 3 anos antes e 3 anos após a data de início de operação dos equipamentos.

Resumidamente a busca de dados, para cada segmento, foi realizada conforme o exemplo para o ponto PT1, com início de operação em 07/06/2014 situado no km 109,590: identificar o número de acidentes com vítimas ocorridos no trecho entre o km 107,60 e o km 111,60 (4km de extensão), de 07/06/2011 a 07/06 de 2017 (Tabela 4.5).



**Figura 4.3** Mapa de representação do equipamento P1 do PNCV (CEV) e do equipamento do PNCT (CC) referente

**Tabela 4.5** Total de acidentes com vítimas por ano ocorridos no local de tratamento PT1

INÍCIO DA OPERAÇÃO EM 07/06/2014		Nº ACIDENTES	
		c/MORTOS	c/FERIDOS
ANO ANTERIOR 3	07/06/2011 a 07/06/2012	1	8
ANO ANTERIOR 2	07/06/2012 a 07/06/2013	1	18
ANO ANTERIOR 1	07/06/2013 a 07/06/2014	2	6
ANO POSTERIOR 1	07/06/2014 a 07/06/2015	2	2
ANO POSTERIOR 2	07/06/2015 a 07/06/2016	0	6
ANO POSTERIOR 3	07/06/2016 a 07/06/2017	0	6

O ponto de controle PC1 correspondente ao ponto de tratamento PT1 está situado no km 98,790 da rodovia. A Tabela 4.6 traz os dados de acidentes para o intervalo temporal correspondente ao obtido para o ponto de tratamento.

**Tabela 4.6** Total de acidentes com vítimas por ano ocorridos no ponto controle PC1

INÍCIO DA OPERAÇÃO EM 07/06/2014		Nº ACIDENTES	
		c/MORTOS	c/FERIDOS
ANO ANTERIOR 3	07/06/2011 a 07/06/2012	1	7
ANO ANTERIOR 2	07/06/2012 a 07/06/2013	0	6
ANO ANTERIOR 1	07/06/2013 a 07/06/2014	1	10
ANO POSTERIOR 1	07/06/2014 a 07/06/2015	0	3
ANO POSTERIOR 2	07/06/2015 a 07/06/2016	0	6
ANO POSTERIOR 3	07/06/2016 a 07/06/2017	0	7

Os dados referentes dos demais pontos tratados e de controle estão dispostos no Apêndice E deste documento.

## 4.2 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS

Esta Seção refere-se à aplicação dos 3 métodos definidos. Os dados de acidentes foram analisados em Unidade Padrão de Severidade (soma ponderada), porém, considerando apenas os acidentes com mortos e feridos. Dessa forma, os resultados viabilizam a avaliação do impacto em termos de variação da severidade.

Aplicou-se, então, os métodos do DNER (1998) e de Vadeby & Forsman (2018) para os pontos de tratamento e de controle e o teste *t* de Student para os pontos tratados. Para todos os métodos

utilizou-se o nível de confiança de 90% e de 95%, porém o de 95% foi o escolhido para todos. A análise dos resultados foi feita considerando as características dos locais, tais como a geometria, o VMDa, dentre outras. Os resultados obtidos foram também comparados com estudos semelhantes revisados na literatura.

#### 4.2.1 Efeito na severidade

##### a) Metodologia DNER (1998)

Inicialmente efetuou-se o somatório dos acidentes, por severidade, referentes aos períodos de 3 anos antes e 3 anos após o início da operação dos CEV's. Em seguida fez-se a soma ponderada dos mesmos conforme determinado em DNER (1998), ou seja, acidente com morte tem peso 9 e acidente com feridos tem peso 3.

Dessa forma, têm-se o cálculo realizado para o ponto tratado PT1. Os resultados dos demais pontos estão resumidos nas tabelas ao longo deste Capítulo:

Antes do início da operação:

- Acidentes com mortos (3 anos anteriores):  $4 \times \text{Peso } 9,00 = 36$
- Acidentes com feridos (3 anos anteriores):  $32 \times \text{Peso } 3,00 = 96$
- Soma Ponderada dos acidentes para período anterior à intervenção:  $36+96 = 132$

Após o início da operação:

- Acidentes com mortos (3 anos após):  $2 \times \text{Peso } 9,00 = 18$
- Acidentes com feridos (3 anos após):  $14 \times \text{Peso } 3,00 = 42$
- Soma Ponderada dos acidentes para período posterior à intervenção:  $18+42 = 60$

**Tabela 4.7** Resultados da metodologia DNER para os locais tratados

Ponto Tratado (PT)	Nº de Acidentes com vítimas (3 anos antes)		Nº de Acidentes com vítimas (3 anos depois)		Soma Ponderada (antes)	Soma Ponderada (depois)
	Mortos	Feridos	Mortos	Feridos	Total	Total
PT1	4	32	2	14	132	60
PT2	6	30	2	22	144	84
PT3	6	65	6	51	249	207
PT4	1	12	2	9	45	45
PT5	1	57	3	44	180	159
PT6	1	5	0	1	24	3
PT7	1	45	1	27	144	90
PT8	3	17	3	11	78	60

**Tabela 4.8** Resultados da metodologia DNER para os pontos de controle

Ponto de Controle (PC)	Nº de Acidentes com vítimas (3 anos antes)		Nº de Acidentes com vítimas (3 anos depois)		Soma Ponderada (antes)	Soma Ponderada (depois)
	Mortos	Feridos	Mortos	Feridos	Total	Total
PC1	2	23	0	16	87	48
PC2	2	17	3	7	69	48
PC3	2	18	5	11	72	78
PC4	1	35	2	13	114	57
PC5	1	5	1	4	24	21
PC6	2	4	0	2	30	6
PC7	3	23	2	41	96	141
PC8	2	7	3	3	39	36

Para calcular a efetividade ( $r$ ) (Tabelas 4.10 e 4.11), procede-se a soma ponderada conforme os índices da Tabela 4.9.

**Tabela 4.9** Índices para soma ponderada

PONTO	ANTES	DEPOIS
Ponto Tratado	132 ( $a$ )	60 ( $d$ )
Ponto de Controle	87 ( $A$ )	48 ( $D$ )

$$r = (d \times A) / (a \times D)$$

$$r = (60 \times 87) / (132 \times 48)$$

$$r = 0,82386$$

**Tabela 4.10** Cálculo da efetividade  $r$

	PONTO TRATADO		PONTO CONTROLE		Cálculo do $r$		
	Nº acidentes com vítimas (soma ponderada)		Nº acidentes com vítimas (soma ponderada)				
	a	d	A	D	A x d	a x D	r
P1	132	60	87	48	5220	6336	0,82386
P2	144	84	69	48	5796	6912	0,83854
P3	249	207	72	78	14904	19422	0,76738
P4	45	45	111	57	5130	2565	2,00000
P5	180	159	24	21	3816	3780	1,00952
P6	24	3	30	6	90	144	0,62500
P7	144	90	96	141	8460	20304	0,42553
P8	78	60	39	36	2340	2808	0,83333

Em termos da efetividade, quanto mais próximo de zero melhor foi o efeito do tratamento. Dessa forma, analisando apenas o valor de  $r$  calculado, todos os locais tiveram efeito positivo com a implantação dos CEV's, exceto nos pontos P4 e P5, pois apresentaram valores de  $r$  maiores que 1. Vale atentar que, para esse resultado, os pontos P6 e P7 foram os que melhor responderam à intervenção.

Para testar as hipóteses e relação à efetividade, aplica-se o logaritmo natural aos valores de  $r$  de modo a eliminar a assimetria característica dessa variável. Cálculo do logaritmo de  $r$  ( $\lambda$ ) e o seu desvio padrão ( $s$ ): Logaritmo de  $r$ :  $\lambda = \text{Ln}(r)$ .

$$\lambda = \text{Ln}(0,82386) \longrightarrow \lambda = -0,19375$$

Variância:

$$s = \sqrt{v} = \sqrt{\left[ \frac{1}{(a+1)} + \frac{1}{(A+1)} + \frac{1}{(d+1)} + \frac{1}{(D+1)} \right]}$$

$$s = \sqrt{v} = \sqrt{\frac{1}{(132+1)} + \frac{1}{(87+1)} + \frac{1}{(60+1)} + \frac{1}{(48+1)}}$$

$$s = 0,23597$$

**Tabela 4.11** Logaritmo de  $r$  e o desvio padrão  $s$ 

Conjunto (PT e PC)	$\lambda = Ln(r)$	$s$
P1	-0,19735	0,23597
P2	-0,17609	0,23099
P3	-0,26478	0,18752
P4	0,69315	0,26347
P5	0,00948	0,31182
P6	-0,47000	0,68199
P7	-0,85442	0,18772
P8	-0,18232	0,28474

O Teste de Hipóteses relativo à efetividade da intervenção, fica:

$H_0: \lambda = 0$ , é o caso quando  $r = 1$  (não ocorreu alteração na acidentalidade)

$H_1: \lambda < 0$

E adotando-se um nível de significância  $\alpha = 0,10$  ou 90% de confiança como sugerido por DNER (1998), calcula-se  $z$ :

$$z = \lambda/s$$

$$z = -0,19735/0,23597$$

$$z = -0,82106$$

Para o nível de significância adotado  $\alpha = 0,10$ , tem-se  $z_\alpha = -1,28$ . A Tabela 4.12 traz os pontos analisados e o resultado sobre  $H_0$ . Se a hipótese  $H_0$  for rejeitada ( $z < z_\alpha$ ), pode-se dizer que o tratamento foi efetivo.

**Tabela 4.12** Teste de hipótese ( $\alpha = 0,10$ )

Equipamentos	$z$	$z_\alpha$ (90%)	$H_0$
P1	-0,82106	-1,28	não rejeita
P2	-0,76234	-1,28	não rejeita
P3	-1,41198	-1,28	rejeita
P4	2,63086	-1,28	não rejeita
P5	0,03040	-1,28	não rejeita
P6	-0,68916	-1,28	não rejeita
P7	-4,55165	-1,28	rejeita
P8	-0,64030	-1,28	não rejeita

A análise foi também realizada para o nível de confiança de 95%, ou seja,  $\alpha = 0,05$  cujo  $z_\alpha = -1,64$ . Os resultados seguem apresentados na Tabela 4.13.

**Tabela 4.13** Teste de hipótese ( $\alpha = 0,05$ )

Equipamentos	$z$	$z_\alpha$ (95%)	$H_0$
P1	-0,82106	-1,64	não rejeita
P2	-0,76234	-1,64	não rejeita
P3	-1,41198	-1,64	não rejeita
P4	2,63086	-1,64	não rejeita
P5	0,03040	-1,64	não rejeita
P6	-0,68916	-1,64	não rejeita
P7	-4,55165	-1,64	rejeita
P8	-0,64030	-1,64	não rejeita

Ainda que no guia DNER (1998) sugira  $\alpha = 0,10$ , foi adotado o nível de significância  $\alpha = 0,05$  para as demais análises. O valor de 5% é comumente utilizado na estatística e, portanto, foi adotado nos 3 métodos desta pesquisa. Uma vez que, para o local PT1  $H_0$  não foi rejeitada, não foi necessário calcular o intervalo de confiança, pois este representa a estimativa da magnitude da efetividade e será calculado apenas para os locais cuja  $H_0$  foi rejeitada. Dessa forma, o único local que apresentou efetividade foi o P7. Calcula-se, então, o intervalo de confiança para  $1 - r$  dados pelas Equações 12 e 13.

$$\lambda \pm z_\alpha \frac{s}{2} \quad (4.1)$$

$$[1 - \exp(\lambda - z_\alpha \frac{s}{2}); 1 - \exp(\lambda + z_\alpha \frac{s}{2})] \quad (4.2)$$

Têm-se então para o ponto PT7 (apresentou efetividade) os seguintes resultados:

$$efetividade = 1 - r$$

$$efetividade = 1 - 0,426$$

$$efetividade \cong 0,57 \text{ ou } 57\%$$

Para o intervalo de confiança (IC), aplicou-se as Equações 12 e 13.

$$-0,85442 \pm (z_{0,05}) \frac{0,18772}{2}$$

$$-0,85442 \pm (1,96)0,18772$$

$$[-0,4865; -1,2223]$$

e,

$$[1 - \exp(-0,4865); 1 - \exp(1,2223)]$$

$$IC = [0,39; 0,71]$$

A Tabela 4.14 traz os resultados gerais para o método do DNER. Nos casos em que houve rejeição da hipótese nula, a efetividade  $r$  representa a porcentagem da redução da severidade dos acidentes. A Tabela traz ainda os intervalos de confiança que representam a faixa da redução observada.

**Tabela 4.14** Resultado do teste e IC

Pontos		Resultado Teste 95% de confiança	$(1 - r)$	Intervalo de Confiança inferior	Intervalo de Confiança superior
1	P1	não rejeita $H_0$	0,176	-	-
2	P2	não rejeita $H_0$	0,161	-	-
3	P3	não rejeita $H_0$	0,233	-	-
4	P4	não rejeita $H_0$	-1,000	-	-
5	P5	não rejeita $H_0$	-0,010	-	-
6	P6	não rejeita $H_0$	0,375	-	-
7	P7	rejeita $H_0$	0,574	0,39	0,71
8	P8	não rejeita $H_0$	0,167	-	-

Portanto, de acordo com a metodologia do DNER (1998), o ponto tratado PT7, na BR-282/SC foi o único que apresentou efetividade, a qual está no intervalo de 39% e 71%.

b) Metodologia de Vadeby & Forsman (2018)

O procedimento de Vadeby e Forsman (2018) prevê o emprego de caso controle. Para o método é necessário calcular o volume médio no período anterior e posterior ao início da operação. Os volumes dos 3 anos anteriores, e posteriores, não tem início no primeiro dia de cada ano, ou seja, uma parte dos dados é de um ano e uma parte no ano seguinte. Por exemplo, a data de início da operação do equipamento no ponto tratado PT1 é 07/06/2014. Os três anos anteriores são, portanto: 07/06/2011 a 07/06/2012, 07/06/2012 a 07/06/2013 e 07/06/2013 a 07/06/2014, ou seja, são dois anos inteiros – 2010 e 2013 – e parte do ano de 2011 e 2014. Assim, calculou-se a média do somatório dos VMDa de 2011, 2012, 2013 e 2014 e para os 3 anos posteriores, realizou-se o mesmo processo, porém para os anos de 2014, 2015, 2016 e 2017. Cálculo do VMDa para o ponto tratado PT1, conforme descrito:

VMDa 3 anos anteriores:  $(11.006 + 11.408 + 11.826 + 12.258) / 4 = 11.625$  vhc x km.

VMDa 3 anos posteriores:  $(12.258 + 12.707 + 12.162 + 12.607) / 4 = 12.434$  vhc x km.

A Tabela 4.15 traz a soma ponderada de acidentes, volume de tráfego e os valores de valor de  $c$  para os pontos tratados e de controle.

**Tabela 4.15** Cálculo dos Índices do Método

PONTO TRATADO		PONTO CONTROLE		VMDa		$c$	$k$	
Nº acidentes com vítimas (soma ponderada)		Nº acidentes com vítimas (soma ponderada)		A=veículos x km percorridos nos 3 anos anteriores D = vhc x km nos 3 posteriores		Razão VMDa depois e antes	Razão entre acidentes do ponto de controle	
a	d	a	d	A	D	D/A	d/a	
P1	132	60	87	48	11.625	12.434	1,069591	0,551724
P2	144	84	69	48	19.899	20.692	1,039851	0,695652
P3	249	207	72	78	19.899	20.692	1,039851	1,083333
P4	45	45	114	57	10.317	10.149	0,983716	0,500000
P5	180	159	24	21	1.638	1.897	1,127154	0,875000
P6	24	3	30	6	2.524	2.780	1,101426	0,200000
P7	144	90	96	141	7.297	8.152	1,117171	1,468750
P8	78	60	39	36	6.403	6.997	1,092769	0,923077

A razão entre os acidentes no período posterior e anterior no ponto tratado -  $\sum Y / \sum X$  - foi calculada para todos os pontos (Tabela 4.16). Os valores apresentados não são referentes ao número absoluto de acidentes e sim, à soma ponderada destes, conforme empregado nas demais metodologias aplicadas neste trabalho.

**Tabela 4.16** Soma Ponderada

Local Tratado	X	Y	$\sum Y / \sum X$
PT1	132	60	0,454545
PT2	144	84	0,583333
PT3	249	207	0,831325
PT4	45	45	1,000000
PT5	180	159	0,883333
PT6	24	3	0,125000
PT7	144	90	0,625000
PT8	78	60	0,769231

Calculou-se então  $\theta$  (mudanças), a variância e os intervalos de confiança para o ponto PT1. Os resultados para todos os pontos avaliados estão apresentados na Tabela 4.17.

i. Mudanças na severidade

$$\theta = ck \frac{\sum Y}{\sum X}$$

$$\theta = 1,069591 \times 0,551724 \times 0,454545 = 0,268236$$

ii. Variância

$$Var(\theta) = \left( ck \frac{\sum Y}{\sum X} \right)^2 \left( \frac{1}{\sum X} + \frac{1}{\sum Y} \right) = 0,268236^2 \left( \frac{1}{132} + \frac{1}{60} \right) = 0,001744$$

$$IC = [0,268236 \pm 1,96 \times \sqrt{0,001744}]$$

$$IC_{inferior} = 0,19 \quad e \quad IC_{superior} = 0,35$$

Ou seja, as mudanças no ponto PT1 foram de 27%, com intervalo de 19% a 35%.

**Tabela 4.17** Variância e Intervalos de Confiança

Local	$\theta$	Variância $var(\theta)$	IC Inferior $\theta$	IC Superior $\theta$
P1	0,268236	0,0017	0,19	0,35
P2	0,421969	0,0034	0,31	0,54
P3	0,936492	0,0078	0,76	1,11
P4	0,491858	0,0108	0,29	0,70
P5	0,871196	0,0090	0,69	1,06
P6	0,027754	0,0003	-0,01	0,06
<b>P7</b>	<b>1,025528</b>	<b>0,0190</b>	<b>0,76</b>	<b>1,30</b>
P8	0,775931	0,0178	0,51	1,04

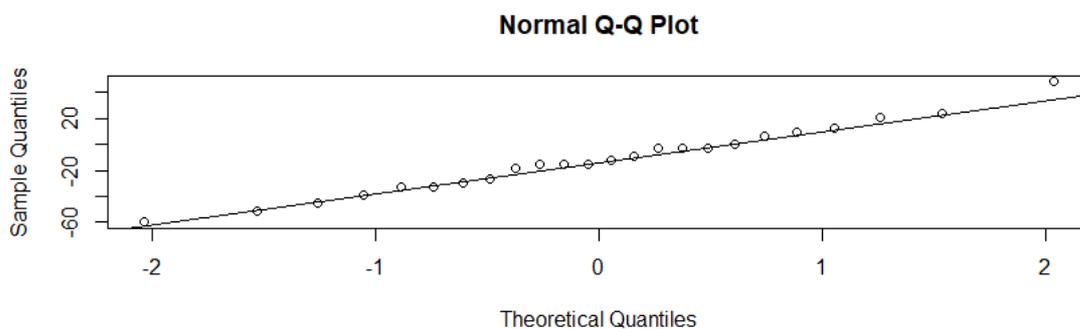
Os resultados indicam que, de acordo com a metodologia de Vadeby e Forsman, todos os pontos tratados com a implantação de CEV's resultaram em melhoria significativa, uma vez que os

valores calculados para as mudanças foram positivos. Ressalta-se cautela no ponto PT6, BR-405/RN, pois mesmo tendo efetividade positiva, ela foi bem próxima de 0, valor para o qual não resulta em mudança significativa. Já o ponto P7, BR-282/SC, apresentou a melhor efetividade, na ordem de 102%.

c) Teste  $t$  de STUDENT

Aqui o teste  $t$  será utilizado na comparação da severidade do período anterior com o posterior à operação do CEV no conjunto de pontos tratados. No entanto, antes de aplicar o teste estatístico é necessário confirmar se os dados apresentam distribuição normal. Em caso positivo, pode-se utilizar o teste paramétrico.

Dessa forma, os 8 pontos foram testados quanto à normalidade da média das diferenças  $\Delta$  (média das diferenças entre depois e antes) pelo teste Shapiro-Wilk, em que um  $pvalor \geq 0,05$  não se pode rejeitar a hipótese de normalidade dos dados concluindo que os dados são normais. Uma vez que  $pvalor = 0,9916$  (calculado) conclui-se que  $\Delta$  é normal. A Figura 4.5 representa essa distribuição normal (Ver Apêndice G).



**Figura 4.2** Normalidade da média das diferenças

Uma vez confirmada a normalidade, pode-se utilizar o teste  $t$  pareado para realizar a análise.

As hipóteses do teste são:

$H_0$ :  $\Delta = 0$  (o equipamento não teve efeito).

$H_1$ :  $\Delta < 0$  (o equipamento foi efetivo na redução da severidade)

Dessa forma, a Tabela 4.18 resume os dados principais.

**Tabela 4.18** Soma ponderada dos 3 períodos antes e 3 períodos após operação do equipamento e diferença entre os períodos

Ponto Tratado (PT)	Ano	Severidade (soma ponderada)		D = depois-antes
		Antes	Depois	
PT1	3º ano	36	18	-18
	2º ano	63	18	-45
	1º ano	36	24	-12
PT2	3º ano	42	27	-15
	2º ano	66	15	-51
	1º ano	36	42	6
PT3	3º ano	102	42	-60
	2º ano	51	99	48
	1º ano	96	66	-30
PT4	3º ano	27	27	0
	2º ano	6	15	9
	1º ano	12	3	-9
PT5	3º ano	66	39	-27
	2º ano	60	81	21
	1º ano	54	39	-15
PT6	3º ano	3	0	-3
	2º ano	15	0	-15
	1º ano	6	3	-3
PT7	3º ano	27	39	12
	2º ano	51	18	-33
	1º ano	66	33	-33
PT8	3º ano	42	3	-39
	2º ano	12	36	24
	1º ano	24	21	-3

Em seguida, calcula-se a média das diferenças  $\Delta$  e o desvio padrão das diferenças internas dos pares  $S$ .

$$\Delta = \frac{\sum D}{n} \quad (4.1)$$

$$\Delta = \frac{-291}{24}$$

$$\Delta = -12,125$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum D^2 - n\Delta^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{18.387 - 24(-12,125)^2}{24 - 1}}$$

$$S = 25,4171$$

E por último calcula-se a estatística do teste:

$$t = \frac{\Delta\sqrt{n}}{S}$$
$$t = \frac{-12,125\sqrt{24}}{25,4171}$$
$$t = -2,3370$$

Então, obtendo-se tanto no *excel* quanto no *software r* (Apêndice G) um *pvalor* = 0,01425 que é menor que *pvalor* = 0,05 (dado), rejeita-se  $H_0$  e têm-se verdadeira a hipótese alternativa, significando que para os 8 locais houve uma média de redução de severidade dos acidentes de 12,125 (ponderada) após o início de operação dos equipamentos, ou seja, uma redução de 29,1% na severidade, uma vez que a média anterior era de 41,625 e a posterior foi de 29,5.

#### **4.2.2 Relação dos resultados com as características dos locais**

Pelas informações dispostas Tabela 4.2 é possível observar que o estudo foi realizado com rodovias de pista simples, duas faixas de trânsito e em sua maioria, com acostamento. A maior parte está inserida em contexto urbano com traçado em tangente. Ao avaliar os resultados obtidos pelos testes com caso controle, foi possível observar pontos com resultado positivo irrefutável quanto ao emprego do CEV (PT7) e pontos que apresentaram resultado contrários quanto aos métodos de Vadeby e Forsman (2018) e DNER (19998), como é o caso do ponto PT6, localizado na BR-405/RN.

O ponto PT7 está próximo à uma curva horizontal acentuada à direita, em pista simples, com acostamento em ambos os lados e velocidade regulamentada de 60km/h. Está inserido no contexto rural, com vegetação abundante e possuem, a pouco mais de 6km, outro equipamento do tipo CEV. O resultado observado no ponto de controle reforça o sucesso do emprego do equipamento no ponto tratado, dado que sua presença contribuiu para a manutenção da velocidade no trecho em curva, reduzindo a severidade.

E o ponto da rodovia PT6 é caracterizado pelo traçado em tangente com pista simples, sem acostamento com proibição de ultrapassagem e inserido em contexto urbano. A velocidade regulamentada é de 50km/h e além disso, há outro CEV a 1 km do ponto estudado, com a mesma velocidade regulamentada, e instalado 6 meses após o equipamento em estudo.

A aplicação do método de análise pareada de Vadeby & Forsman (2018) para o ponto selecionado da rodovia PT6, apresentou a pior efetividade dentre os 8 estudados. Ao observar a soma ponderada do ponto de tratamento com o respectivo ponto de controle é possível observar ambos apresentaram reduções na severidade muito próximas, de 24 para 3 – ponto tratado –; e de 30 para 6 – ponto de controle (ver Tabelas 4.7 e 4.8), com aumento de 10% no VMDa. Dessa forma, como as reduções foram quase iguais, no método de Vadeby & Forsman (2018), de acordo com método, a instalação do CEV foi indiferente. Além disso, há indícios de que nesse local ocorreu o fenômeno de regressão à média, uma vez que ocorreram poucos acidentes (Tabelas E.9 e E.10, no Apêndice E) ao longo dos 6 anos analisados em ambos os pontos (tratado e controle), reforçando, nesse local, o comportamento aleatório dos acidentes.

O teste *t*, por ter sido aplicado apenas para os locais tratados, não pode ser comparado com os outros métodos – DNER (1998) e Vadeby e Forsman (2018), uma vez que estes incorporam os locais controles – entretanto, ele também confirma a efetividade do conjunto avaliado no qual é possível afirmar que o emprego dos equipamentos do tipo CEV foi efetivo na redução da severidade do grupo investigado em torno de 29,1%. Por fim, é interessante observar que o melhor resultado em termos de efetividade foi observado para o caso em que o equipamento de fiscalização estava posicionado antes de uma curva acentuada. Os demais pontos estão localizados em trechos em tangente e em curvas muito suave.

#### **4.2.3 Comparação com outros estudos**

A análise realizada neste trabalho constou de:

- Aplicação de 3 métodos do tipo antes-depois a fim de verificar a redução da severidade de acidentes nos 8 locais selecionados segundo critérios que garantiram o número mínimo de informações requeridas pelos métodos empregados, tal como VMDa;
- Estudos do tipo caso-controle e observacional;

- Raio de análise adotado de 2km, totalizando um segmento de 4km para cada ponto de análise (tratado e controle);
- Dados de acidentes contemplando acidentes com vítimas, com mortes e/ou feridos, e que foram trabalhados em UPS, segundo o método do DNER (1998).

Os métodos empregados contemplaram o cálculo da severidade por local e no último (teste *t* de Student) a severidade global, ou seja, para os 8 locais como um conjunto. Todos foram analisados por meio de UPS (soma ponderada de acidentes no local tratado e controle), porém o método de Vadeby & Forsman (2018) também utiliza os dados de VMDa. Os métodos DNER (1998) e Vadeby & Forsman (2018) convergiram para um local com efetividade significativa. Para os demais locais, o método Vadeby & Forsman (2018) confirmou a efetividade para todos os pontos estudados. O teste *t*, apesar de não ser adequado compará-lo com os demais uma vez que ele foi aplicado apenas para locais tratados também indicou efetividade do tratamento para o grupo analisado com redução de 29,1% da severidade. Finalmente, os resultados foram comparados com as suas respectivas características geométricas (Seção 4.2.2), tendo sido a análise restrita em função da escassez de dados e conseqüente reduzido tamanho de amostra. O mesmo ocorreu no estudo de Mountain *et al.* (2004), no qual o tamanho da amostra foi limitado pela disponibilidade de dados suficientemente detalhados sobre acidentes, velocidades e fluxos de tráfego.

O trabalho de De Pauw *et al.* (2014a), também empregou grupos de controle, mas não adotou volume de tráfego, pois estes não estavam disponíveis. Entretanto ele explica que as tendências gerais de tráfego já são levadas em conta quando se tem um grande grupo de comparação. Além disso ele cita que os locais onde foram instalados os equipamentos não permitiam, na maioria das vezes, um desvio de rota, não tendo então alterações significativas de volume de tráfego. No presente estudo, apesar de não ter VMDa para todos períodos, recorreu-se ao cálculo de estimativas. Avalia-se que incorporar os dados de volume trazem mais robustez na avaliação de redução na severidade, ou seja, se essa redução foi acompanhada pelo crescimento usual do tráfego, muito provavelmente o CEV foi mais eficiente do que em um local que reduziu o tráfego. Estes casos podem ocorrer por mudança de rota e pelo volume reduzido do trecho, indicando mais chance de uma redução maior de acidentes, assim como cita Mountain *et al.* (2004) ao dizer que ignorar qualquer redução no fluxo levará a resultados superestimados de redução de acidentes.

De Pauw *et al.* (2014b) também comenta que seria interessante ter informações sobre a frequência e a duração de operação dos equipamentos. Nesta pesquisa, essa observação foi considerada ao eliminar aqueles equipamentos que ficaram paralisados por mais de 30 dias. Dentre os aspectos negativos de incorporar tais equipamentos na amostra destaca-se a percepção de motoristas frequentes e infratores quanto ao não funcionamento e dessa forma, estariam mais propensos a cometer infrações que poderiam resultar em acidentes. Carnis & Blais (2013) também não adotaram volume de tráfego, porém, não comentaram nada a respeito.

Em relação ao efeito da regressão à média, não foram aplicadas equações para controlá-la. Entretanto, como recomendado por FWHA (2016), adotou-se um grupo controle que contribui na redução desse efeito. Segundo Høye (2015), comparar taxas de acidentes antes e depois teriam reduções muito maiores, em relação a uma análise com controle de regressão à média. Foi o que aconteceu com o ponto tratado PT6, que apresentou redução na severidade após operação do CEV, mas ao ser comparada com seu local controle ele não foi efetivo. Caso não fosse adotado o controle, a avaliação da efetividade do equipamento seria superestimada, pois a redução da severidade seria atribuída à operação do equipamento.

Quanto à efetividade dos equipamentos analisados, de modo global pode-se observar, uma redução de 29,1% para os 8 locais. O estudo de Newstead & Cameron (2003), para o mesmo raio adotado (2 km), apontou uma redução de 73% para todos os acidentes (com vítimas e sem vítimas). Os autores citam que o percentual alcançado se deve ao incremento de equipamentos ao longo dos anos aumentando a cobertura de fiscalização. Carnis & Blais (2013) apontaram uma redução bastante parecida de 72,7% no número de mortos, mas que deve ser interpretado com cautela, uma vez que efeitos de sazonalidade não foram considerados. Høye (2015), não encontrou efeitos estatisticamente significativos para seções longas (3,1 km), que foram menores que a seção adotada neste estudo (4 km).

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho segue a linha de análise de outros trabalhos similares por adotar uma metodologia antes/depois. Entretanto, a escolha de comparar locais com e sem intervenção é interessante pois permite avaliar de modo mais robusto a efetividade da intervenção. Para a proposta, foram empregadas 3 metodologias de estudos observacionais, sendo duas com caso-controle e uma de análise global. A análise realizada por diferentes processos viabiliza avaliar se houve a convergência ou não dos resultados, reforçando os resultados obtidos e viabilizando a avaliação dos métodos empregados. Aqui, apenas o teste  $t$  não pode ser comparado com os demais métodos, uma vez que o grupo controle não foi utilizado na análise.

O objetivo proposto da pesquisa em analisar o efeito dos equipamentos CEV na redução de severidade em rodovias, foi alcançado por meio dos métodos escolhidos. Entretanto, a avaliação foi realizada para 8 equipamentos (menos de 1% do total em operação), devido às limitações referentes à disponibilidade de dados complementares e necessários para as análises.

Para os 8 pontos estudados, dois dos 3 métodos apontaram redução efetiva da severidade a partir do emprego dos CEV's, um utilizando caso-controle (Vadeby & Forsman, 2018) e outro apenas o grupo tratado (teste  $t$ ). Neste, ao avaliar o conjunto de locais tratados, a redução foi significativa de 29,1%. No entanto, com os resultados aqui obtidos, não é razoável estender a conclusão para os demais equipamentos em operação, sobretudo pela grande variabilidade de elementos geométricos e operacionais que não foram contemplados nesse estudo, como por exemplo, trechos rodoviários de pista dupla.

Com o desenvolvimento desta pesquisa foi possível confirmar que os acidentes de trânsito, além de possuírem natureza aleatória, também podem ser fortemente influenciados pelo volume de tráfego, pelas características do entorno, dentre outros fatores. Esses aspectos ressaltam a importância de estabelecer um adequado delineamento dos estudos de efetividade dos equipamentos de modo a minimizar erros obtidos de análises simplistas baseadas apenas em número absoluto de acidentes.

Também é de alta relevância a manutenção das bases de dados, tais como as que foram utilizadas neste trabalho como SIOR e PNCT, e ainda a necessidade de incrementar o máximo dessas características mencionadas. A exemplo, cita-se a localização dos acidentes em

coordenadas geográficas, que passou a ser coletado pela PRF desde 2017, e que tornará as análises futuras mais precisas. Dessa forma, será possível consolidar bases de dados robustas que viabilizarão os estudos técnicos, dando mais certeza da efetividade do programa e subsidiar, portanto, as tomadas de decisão quanto aos investimentos em segurança viária.

## **5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO**

Esse trabalho teve início com a proposta de analisar o efeito dos equipamentos de fiscalização eletrônica de velocidade na promoção da segurança viária em segmentos rurais, considerando avaliar a influência da região do país, dos tipos de via, das condições de relevo, de fatores operacionais, dentre outros. No entanto, apesar de serem 2604 número de equipamentos do tipo CEV em operação na ocasião da coleta dos dados, apenas uma parte deles possuía todos os dados necessários à realização de estudos da natureza proposta. A exemplo, após eliminar os equipamentos instalados após 2015 e com mais de 30 dias de paralização, o número de CEV's foi reduzido a 852 equipamentos. Destes que possuíam dados de volume de tráfego e de acidentes, restaram 8 equipamentos, todos em pista simples, sendo 6 inseridos em segmentos urbanos e 2 em rurais. Destaca-se ainda que os 8 equipamentos com início de operação a partir de 2014, o mesmo ano que o PNCT retomou suas atividades e por esse motivo, para anos anteriores a 2014, foi necessário fazer uma previsão dos dados de tráfego. Para esses 8, encontraram-se, ainda, as duas limitações a seguir: os medidores de velocidade do DNIT possuem localização tanto em km quanto em coordenadas geográficas, a PRF também possui a localização dos acidentes em km, entretanto, em coordenadas geográficas, somente a partir do ano de 2017. Dessa forma, optou-se por adotar a localização em km de modo a garantir o mesmo procedimento para toda a amostra. Esse aspecto trouxe uma limitação para escolha do raio de estudo, pois quanto menor o intervalo de análise, maior é a imprecisão associada aos dados de acidentes. Diante disso, foi adotado o raio único de 2km, à montante e à jusante do equipamento, sem segmentá-lo em intervalos menores e por fim, o VMDa utilizado foi o mesmo para o local tratado e controle. Entretanto, como esses locais estavam distantes em, no máximo, 50 km um do outro, pode ser que ocorra uma alteração no volume de tráfego devido a desvio de fluxo para outras vias. Apesar disso, essa diferença não deve alterar de maneira significativa os fluxos por não ser uma distância muito grande.

## 5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como apontado anteriormente, o principal item que limitou esta pesquisa foi a disponibilidade de dados. Dessa forma, para trabalhos futuros e quando se dispuser de mais dados, sugere-se, a fim complementar e endossar esta pesquisa, as seguintes investigações:

- Relacionar as características locais como, VMDa, ocupação do solo, velocidade operacional, etc, com a efetividade dos CEVs e identificar qual/quais tem maior impacto na redução de acidentes. Ressalta-se que para viabilizar esse estudo é necessário que os órgãos responsáveis tenham um controle das alterações realizadas na via ao longo do tempo, e que tais informações sejam disponibilizadas em sistemas como o SIOR.
- Analisar a efetividade dos CEV's em trechos rodoviários brasileiros para diferentes comprimentos, sobretudo aqueles menores que 2000 metros a fim de verificar se há uma migração de acidentes (mudança para uma rota alternativa e/ou frenagem brusca dos motoristas na sua aproximação do equipamento). Nessa proposta é interessante investigar quais as faixas de comprimento o equipamento tem mais influência. Ressalta-se que essa análise será mais precisa para os dados de acidentes em coordenadas geográficas. Uma série de anos maior que a adotada (6 anos) neste trabalho também pode viabilizar resultados mais robustos.
- Devido à pequena quantidade de locais estudados (8) não foi possível comparar os efeitos entre segmento urbano e rural, ou se há influência da região, ou ainda do tipo de pista (simples, dupla). Sugere-se realizar essas análises.
- Seria interessante considerar as características do motorista, os padrões de segurança dos veículos e as causas dos acidentes, pois alguns não podem ser evitados com a presença do equipamento devido à uma distração, por exemplo.
- Sugere-se estudar o efeito dos medidores de velocidade em chegadas de travessias urbanas, em curvas e em trechos em tangente, o que não foi possível aqui devido às limitações apresentadas. Esse estudo também pode ser realizado pelo órgão por meio de um estudo experimental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARTS, L. & VAN SCHAGEN, I. (2006) Driving speed and the risk of road crashes: a review. *Accident Analysis and Prevention*, v. 38 (2), p. 215–224.

AASHTO (2010) American Association of State and Highway Transportation Officials. Highway Safety Manual, Washington, EUA.

ABDULSALAM, A. J., Y. HASSAN & A. E. H. O. ABD EL HALIM (2015) The effect of automated speed cameras on fatal traffic collisions in Kuwait. *Journal of Engg. Research*. v. 3 (4), p. 17-29.

AMBEV (2017) Retrato da Segurança Viária no Brasil – 2017. Brasília: Falconi, CLP e TRANSIT, 2017. 104 p.

AMIN, K. BERG, H. BENGTSSON, K. FORSMAN Å, LARSSON, P. LINDHOL, M. STERNLUND, S. STRANDROTH & J. VADEBY, A. (2015) Analysis of Road Safety Trends for 2014. Management by Objectives for Road Safety Work, Towards the 2020 Interim Targets. *The Swedish Transport Administration, Borlänge, Sweden*, v. 103.

AUSTRALIAN TRANSPORT COUNCIL (2008) National Road Safety Action Plan 2009 and 2010. Disponível em: <[https://infrastructure.gov.au/roads/safety/publications/2008/pdf/ATC\\_actionplan0910.pdf](https://infrastructure.gov.au/roads/safety/publications/2008/pdf/ATC_actionplan0910.pdf)> acessado em: 15/12/2018.

BANCO MUNDIAL (2013) Road Safety Management Capacity Reviews and Safe System Projects. World Bank Global Road. Washington, DC.

BELIN, M.-Å., TILLGREN, P., VEDUNG, E., CAMERON, M. & TINGVALL, C. (2010) Speed cameras in Sweden and Victoria, Australia – a case study. *Accid. Anal. Prev.* 42 (6), 2165– 2170.

BRASIL (2011) Resolução nº 396, de 13 de dezembro de 2011. Dispõe sobre requisitos técnicos mínimos para a fiscalização da velocidade de veículos automotores, reboques e semirreboques, conforme o Código de Trânsito Brasileiro. Disponível em: <[http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO\\_CONTRAN\\_396\\_11.pdf](http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO_CONTRAN_396_11.pdf)>. Acesso em: 19 de janeiro de 2018.

CARNEIRO, B. A.; SOUSA, R. F.; TORRES, A. C. S. & JACQUES, M. A. P. (2004) Estudo da Velocidade Veicular em Trechos Viários constituídos por Equipamentos de Fiscalização do Tipo Fixo dispostos de forma contínua. In: XII *Panamerican Conference of Traffic & Transportation Engineering*, 2004, Albany, New York. XII *Panamerican Conference – Traffic & Transportation Engineering – Conference Papers*.

CARNIS, L. & BLAIS, E. (2013) An assessment of the safety effects of the French speed camera program. *Accident Analysis and Prevention*, v. 51, p. 301-309.

DE PAOLA, M., SCOPPA, V. & FALCONE, M. (2013) The deterrent effects of the penalty points system for driving offences: a regression discontinuity approach. *Empirical Economics*, v. 45, p. 965-985.

DE PAUW, E., DANIELS, S., BRIJS, T., HERMANS, E. & WETS, G. (2014a) An evaluation of the traffic safety effect of fixed speed cameras. *Accident Analysis and Prevention*, v. 62, p. 168-174.

DE PAUW, E.; DANIELS, S.; BRIJS, T.; HERMANS, E. & WETS, G. (2014b) Behavioral effects of fixed speed cameras on motorways: Overall improved speed compliance or kangaroo jumps? *Accident Analysis and Prevention*, v. 73, p. 132-140.

DELHOMME, P., CRISTEA, M. & PARAN, F. (2014) Implementation of automatic speed enforcement: Covariation with young drivers' reported speeding behavior and motivations. *Revue européenne de psychologie appliquée*, v. 64, p. 131-139.

DNER (1998) Guia de Redução de Acidentes com Base em Medidas de Engenharia de Baixo Custo. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Publicação 703, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Ministério dos Transportes, Brasília, 140p.

DNIT (2006) Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual de Estudos de Tráfego*. Publicação IPR 723. Rio de Janeiro, 2006. 384 p.

DNIT (2010) Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Equipamentos redutores de velocidade e seus efeitos sobre os acidentes nas rodovias federais*. Publicação 735. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro. 30p.

DNIT (2015a) Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Programa Nacional de Controle Eletrônico de Velocidade - PNCV, Edital 471/2009.

DNIT (2015b) Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/noticias/dnit-instala-pontos-permanentes-de-coleta-eletronica-de-dados-em-mg-e-ms/dnit-instala-pontos-permanentes-de-coleta-eletronica-de-dados-em-mg-e-ms/view>>. Acesso em: 20 de fevereiro 2019.

DNIT (2018a) Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Plano Nacional de Contagem de Tráfego*. <<http://servicos.dnit.gov.br/dadospnet/Inicio/institucional>> Acesso em: 16 de abril 2018.

DUDUTA, N.; ADRIAZOLA-STEIL, C.; HIDALGO, D.; LINDAU, L. A. & JAFFE, R. (2012) "Understanding the Road Safety Impact of High Performance BRT and Busway Design Features." *Transportation Research Record* 2317: 8–16.

ELVIK, R. & VAA, T. (2004) *The Handbook of Road Safety Measures*. Elsevier, Amsterdam/New York.

ELVIK, R.; CHRISTENSEN, P. & AMUNDSEN, A. (2004) Speed and road accidents. An evaluation of the Power Model. *TØI report, Institute of Transport Economics*, v. 740.

FERRAZ, A. C. P; RAIJA JUNIOR, A. A.; BEZERRA, B. S.; BASTOS, J. T. & SILVA, K. C. R. (2012) *Segurança Viária*. Suprema Gráfica e Editora. São Paulo.

- FLEITER, J. & WATSON, B. (2006) The speed paradox: the misalignment between driver attitudes and speeding behaviour. *Journal of the Australasian College of Road Safety*, v. 17 (2), p. 23-30.
- FREEMAN, J., KAYE, S-A., TRUELOVE, V. & DAVEY, J. (2017) Is there an observational effect? An exploratory study into speed cameras and self-reported offending behavior. *Accident Analysis and Prevention*, v. 108, p. 201-208.
- FHWA (2016) Reliability of Safety Management Methods. *Federal Highway Administration*. Report N° FHWA-SA-16-040. Washington, DC, Estados Unidos.
- GOVERNO DE VICTORIA (1993) DEPARTMENT OF JUSTICE, BOURNE, M.G., COOKE, R.C. Victoria's speed camera program. Crime prevention Studies 1.
- HESS, S. (2004) Analysis of the effects of speed limit enforcement cameras: differentiation by road type and catchment area. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 1865, p. 28–34.
- HØYE, A. (2015) Safety effects of fixed speed cameras - An empirical Bayes evaluation. *Accident Analysis and Prevention*, v. 82, p. 263-269.
- KOOP (2019) Koop Tecnologia e Inovações em Defesa da Vida. *Radares*. Disponível em: <<http://www.kopp.com.br/seguranca-no-transito/>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2019.
- IPEA (2015) Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Acidentes de Trânsito nas Rodovias Federais Brasileiras: Caracterização, Tendências e Custos para a Sociedade. Relatório de Pesquisa. Brasília.
- KITCHENHAM, B.& CHARTERS, S. (2007) Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. Keele University and Durham University Joint Report.
- LI, H. & GRAHAM, D. J. (2016) Heterogeneous treatment effects of speed cameras on road safety. *Accident Analysis and Prevention*, v. 97, p. 153-161.
- MARCIANO, H., SETTER, P. & NORMAN, J. (2015) Overt vs. covert speed cameras in combination with delayed vs. immediate feedback to the offender. *Accident Analysis and Prevention*, v. 79, p. 231-240.
- MOUNTAIN, L. J., HIRST, W. M. & MAHER, M. J. (2004) Costing lives or saving lives: a detailed evaluation of the impact of speed cameras. *Traffic Engineering and Control* 45 (8), p. 280–287.
- NEWSTEAD, S., & CAMERON, M. (2003) Evaluation of the Crash Effects of the Queensland Speed Camera Program. Report 204. Monash University, Accident Research Centre, Melbourne, Australia, 2003.
- OECD/ECMT (2006) Transport Research Centre: *Speed Management report*. Paris, França. (available in English and French).

- OMS (2015) Organização Mundial da Saúde. *Global status report on road safety 2015: Supporting a decade of action*. World Health Organization, Genebra, Suíça.
- OMS (2017a) Organização Mundial da Saúde. *Save Lives: a road safety technical package*. World Health Organization, Genebra, Suíça.
- OMS (2017b) Organização Mundial de Saúde. *Managing Speed*. World Health Organization, Genebra, Suíça.
- OMS (2018) Organização Mundial da Saúde. *Global status report on road safety 2018*: World Health Organization, Genebra, Suíça.
- OPAS (2008) Organização Pan-Americana da Saúde. *Gestão da Velocidade: um manual de segurança viária para gestores e profissionais da área*. Brasília, DF.
- PERKONS (2019) *Há 26 anos lombadas eletrônicas salvam vidas no trânsito*. Disponível em: <<http://www.perkons.com.br/pt/noticia/1776/ha-26-anos-lombadas-eletronicas-salvam-vidas-no-transito>>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2019.
- PETRIDOU, E. & MOUSTAKI, M. (2000) Human factors in the causation of road traffic crashes. *Eur. J. Epidemiol*, v. 16 (9), p. 819-826.
- PILKINGTON, P. & KINRA, S. (2005) Effectiveness of speed cameras in preventing road traffic collisions and related casualties: systematic review. *BMJ*, v. 330 (7487), p. 331-334.
- PRF (2017) Dados agrupados por ocorrência – 2017. Dados abertos da Polícia Rodoviária Federal. Ministério da Segurança Pública. Disponível em: <http://www1.prf.gov.br/arquivos/index.php/s/nqvFu7xEF6HhbAq/download> acessado em: 12/out/2018.
- RAZALI, N. M. & WAH, Y. B (2011) Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson Darling Tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics, Malaysia*, v. 2, n. 1, p. 21-23.
- ROSEN, E. & SANDER, U. (2009) Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed. *Accident Analysis and Prevention*, v. 41, p. 536-542.
- ROZESTRATEN, R. J. A. (2012) *Psicologia do Trânsito: conceitos e processos básicos*. Reimpressão. Editora da USP. São Paulo.
- SADIA, R., BEKHOR, S. & POLUS, A. (2018) Structural equations modelling of drivers' speed selection using environmental, driver, and risk factors. *Accident Analysis and Prevention*, v. 116, p. 21-29.
- SINAY, M. C. F. & TAMAYO, A. S. (2005) *Segurança Viária: Uma Visão Sistêmica*. In: Rio de Transportes III, Rio de Janeiro.
- SWOV (2012) SWOV Fact Sheet – Speed Choice: The Influence of Man, Vehicle, and the Road. (2012, June, Retrieved May 2013, from SWOV: Institute for Road Safety Research: [http://www.swov.nl/rapport/Factsheets/UK/FS\\_Speed\\_choice.pdf](http://www.swov.nl/rapport/Factsheets/UK/FS_Speed_choice.pdf)).

TECDET (2019) *Radar fixo*. Disponível em: <<http://www.tecdet.com.br/solucoes/radar-fixo>>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2019.

TOUAHMIA, M. (2018) Identification of risk factors influencing road traffic accidents. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, v. 8, nº 1, p. 2417-2421.

VADEBY, A. & FORSMAN, A. (2018) Traffic safety effects of new speed limits in Sweden. *Accident Analysis and Prevention*, v. 114, p. 34-39.

VANLAAR, W., ROBERTSON, R. & MARCOUX, K. (2014) An evaluation of Winnipeg's photo enforcement safety program: Results of time series analyses and an intersection camera experimente. *Accident Analysis and Prevention*, v. 62, p. 238-247.

WILSON, C., WILLIS, C., HENDRIKZ, J., LE BROUQUE, R. & BELLAMY, N. (2010) Speed Cameras for the Prevention of Road Traffic Injuries and Deaths. *Intervention Review*. The Cochrane Collaboration. Published by John Wiley & Sons, Ltd.

YAMADA, M. G. (2005) *Impacto dos radares fixos na velocidade e na acidentalidade em trecho da rodovia Washington Luís*. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação da Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 138 p.

ZAR, J. H. (2010) *Biostatistical Analysis*. Editora Pearson. Upper Saddle River, New Jersey.

## APÊNDICE A – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Uma Revisão Sistemática da Literatura - RSL, conforme Kitchenham & Charters (2007), é um meio de identificar, avaliar e interpretar todo o estudo relevante sobre uma questão de pesquisa específica, área temática ou fenômeno de interesse.

Para este projeto, foi realizada uma RSL inicial para reunir os estudos mais relacionados ao tema.

A busca de documentos, através da RSL, teve por objetivo responder à questão problema de pesquisa deste projeto:

*“Como reduzir o número de acidentes de trânsito com vítimas (mortos e feridos) em trechos rodoviários?”*

As seguintes etapas foram executadas:

**Data:** 30 de janeiro de 2018.

**Base de Dados:** *Web of Science.*

**Período:** 2013 – 2017.

**Tipo de Documento:** artigos.

**Palavras-chave:** *road safety, traffic safety, speed camera program, speed câmeras e speed enforcement.*

**Composição de palavras inserida na busca:** *((“road safety” OR “traffic safety”) AND (“speed camera program” OR “speed cameras” OR “speed enforcement”)).*

**Total de artigos:** 51.

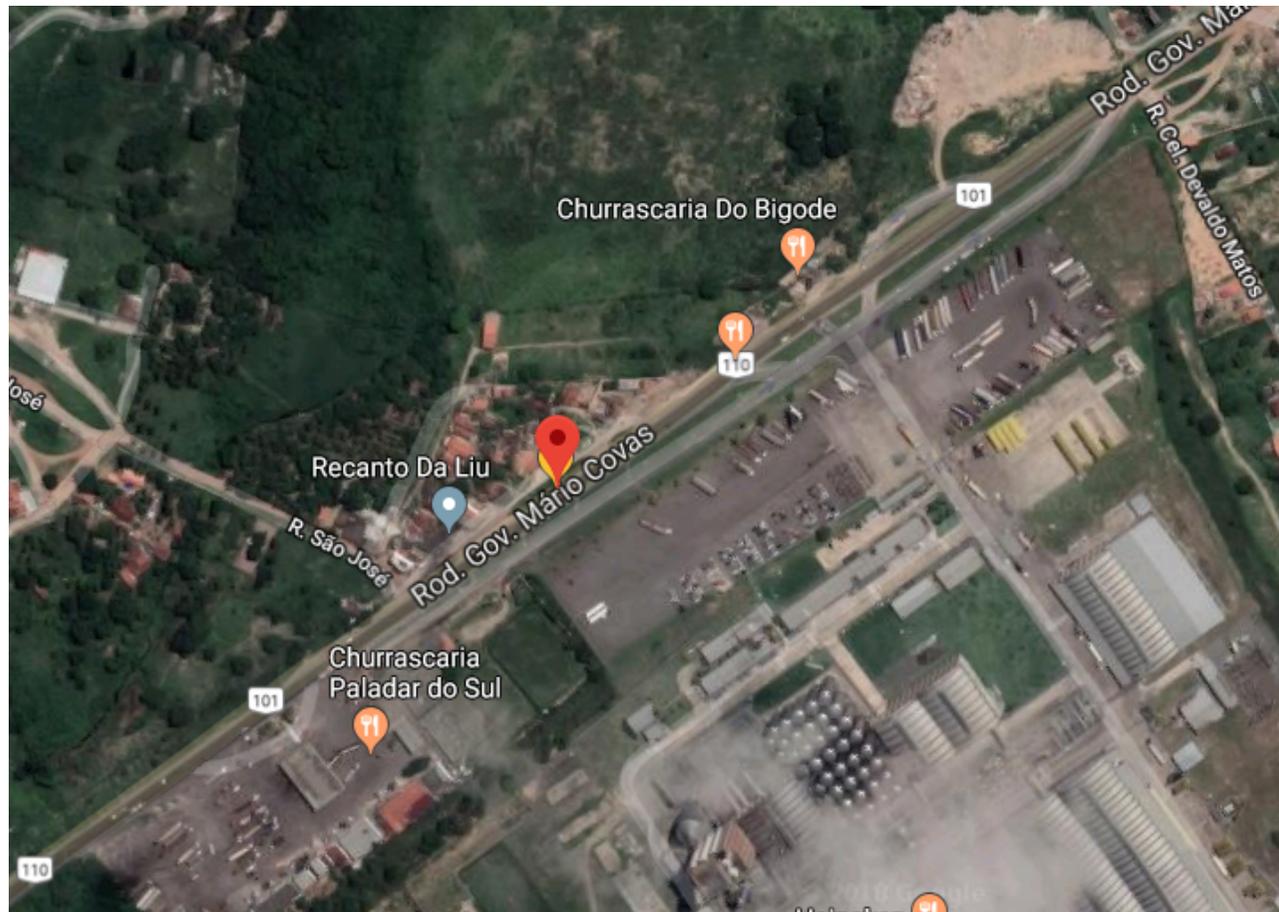
**Categorias:** Transportes.

Dos 51 artigos, foram selecionados aqueles que continham o texto integral. Desses, foram lidos os resumos, introdução e conclusão. Dessa forma, 12 artigos foram selecionados para leitura e estão compondo a primeira fase da RSL desta pesquisa. A Tabela A.1 resume os dados dos documentos selecionados, contendo ano de publicação, título, autores, periódico e país no qual o estudo foi realizado.

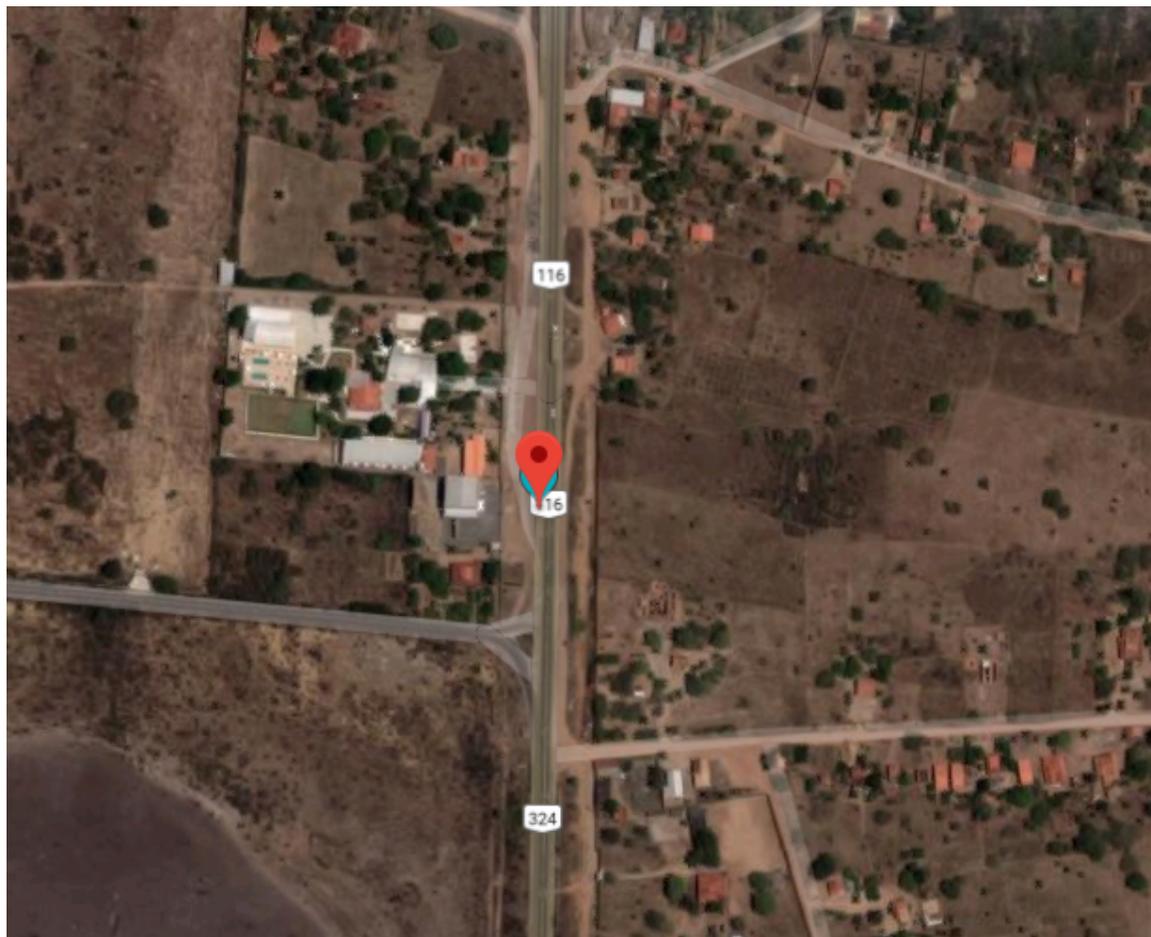
**Tabela A.0.1** Resumo dos artigos da RSL

<b>Ano</b>	<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Periódico</b>	<b>País</b>
2013	The deterrent effects of the penalty points system for driving offences: a regression discontinuity approach	Maria De Paola, Vincenzo Scoppa, Mariatiziana Falcone	Empirical Economics	Itália
2013	An assessment of the safety effects of the French speed camera program	Laurent Carnis, Etienne Blais	Accident Analysis and Prevention	França
2013	Speed enforcement in China: National, provincial and city initiatives and their success	Jie He, Mark King, Barry Watson, Andry Rakotonirainy, Judy Fleiter	Accident Analysis and Prevention	China
2014a	An evaluation of the traffic safety effect of fixed speed cameras	Ellen De Pauw, Stijn Daniels, Tom Brijs, Elke Hermans, Geert Wets	Safety Science	Bélgica
2014b	Behavioral effects of fixed speed cameras on motorways: Overall improved speed compliance or kangaroo jumps?	Ellen De Pauw, Stijn Daniels, Tom Brijs, Elke Hermans, Geert Wets	Accident Analysis and Prevention	Bélgica
2014	Implementation of automatic speed enforcement: Covariation with young drivers reported speeding behavior and motivations	P. Delhomme, M. Cristea, F. Paran	Revue Europeenne de psychologie appliqué	França
2014	An evaluation of Winnipeg's photo enforcement safety program: Results of time series analyses and an intersection camera experiment	Ward Vanlaar, Robyn Robertson, Kyla Marcoux	Accident Analysis and Prevention	Canadá
2015	The effect of automated speed cameras on fatal traffic collisions in Kuwait	Amal Jasem Abdulsalam, Yasser Hassan, Abd El Halim Omar Abd El Halim	Journal of Eng. Research	Kuwait
2015	Overt vs. covert speed cameras in combination with delayed vs. immediate feedback to the offender	Hadas Marciano, Pe'erly Setter, Joel Norman	Accident Analysis and Prevention	Israel
2015	Safety effects of fixed speed cameras—An empirical Bayes evaluation	Alena Høye	Accident Analysis and Prevention	Noruega
2016	Heterogeneous treatment effects of speed cameras on road safety	Haojie Li, Daniel J. Graham	Accident Analysis and Prevention	Inglaterra
2017	Is there an observational effect? An exploratory study into speed cameras and self-reported offending behavior	J. Freeman, S-A. Kaye, V. Truelove, J. Davey	Accident Analysis and Prevention	Austrália

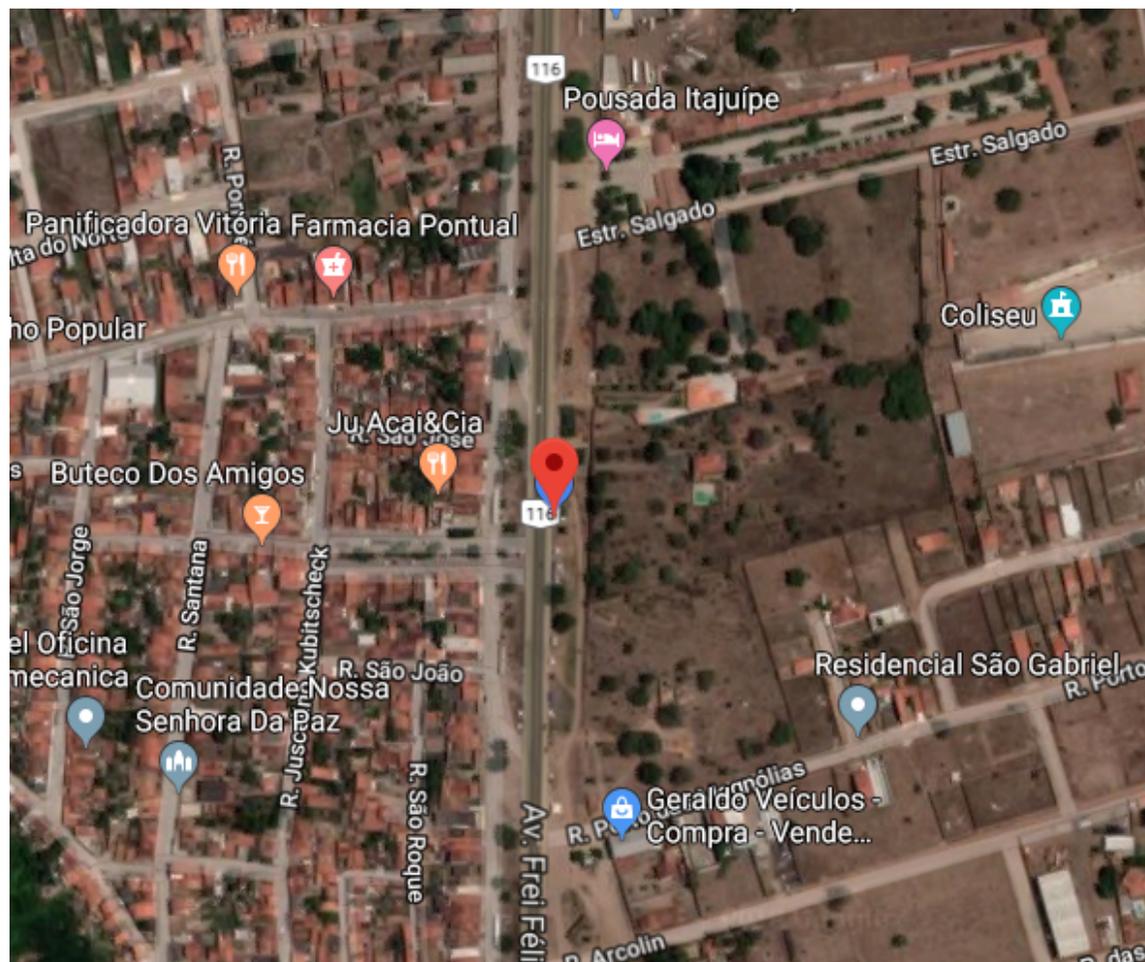
## APÊNDICE B – LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS DE TRATAMENTO



**Figura B.0.1** PT1, BR 101, BA



**Figura B.0.2** PT2, BR 116, BA



**Figura B.0.3** PT3, BR 116, BA

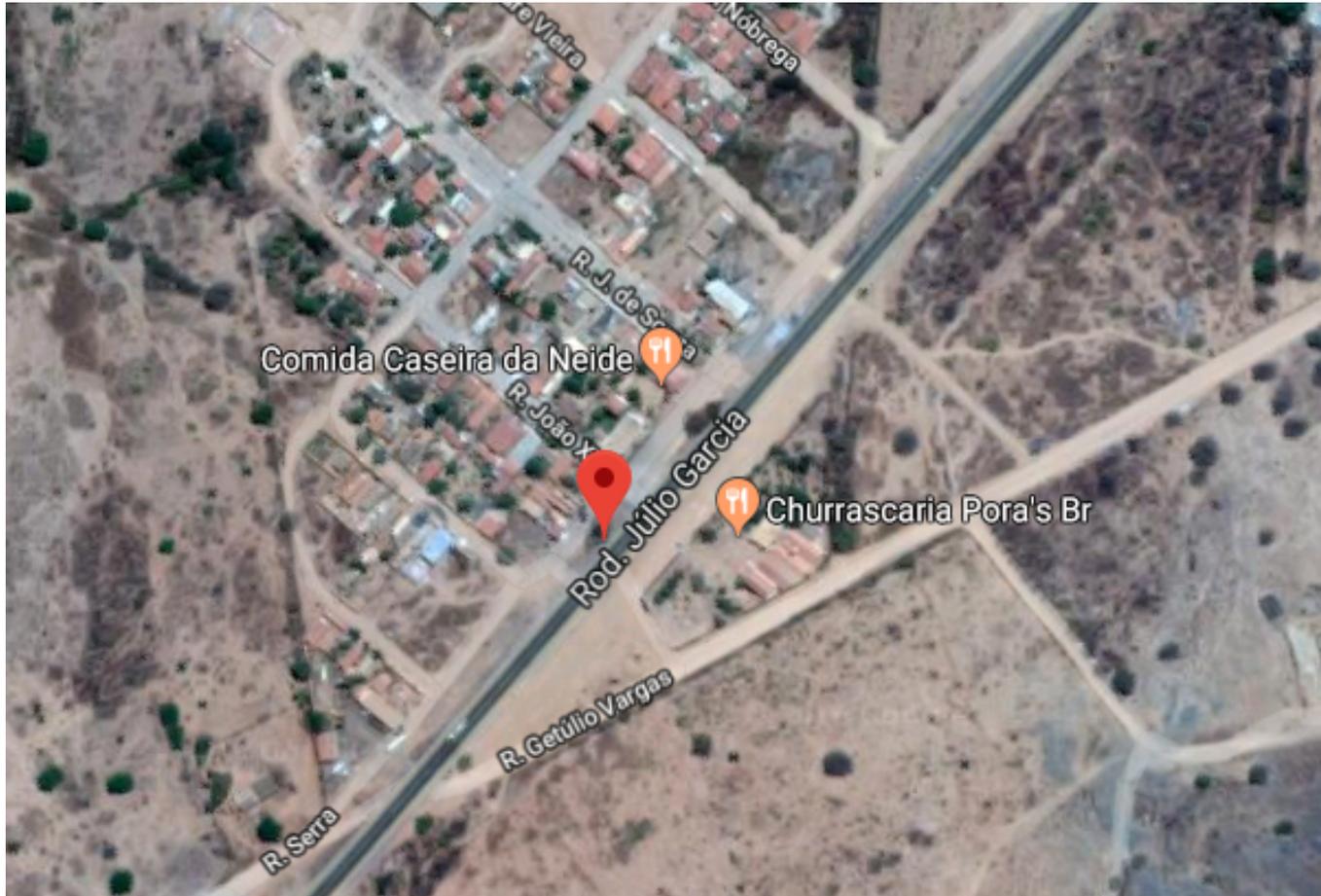


Figura B.0.4 PT4, BR 251, MG

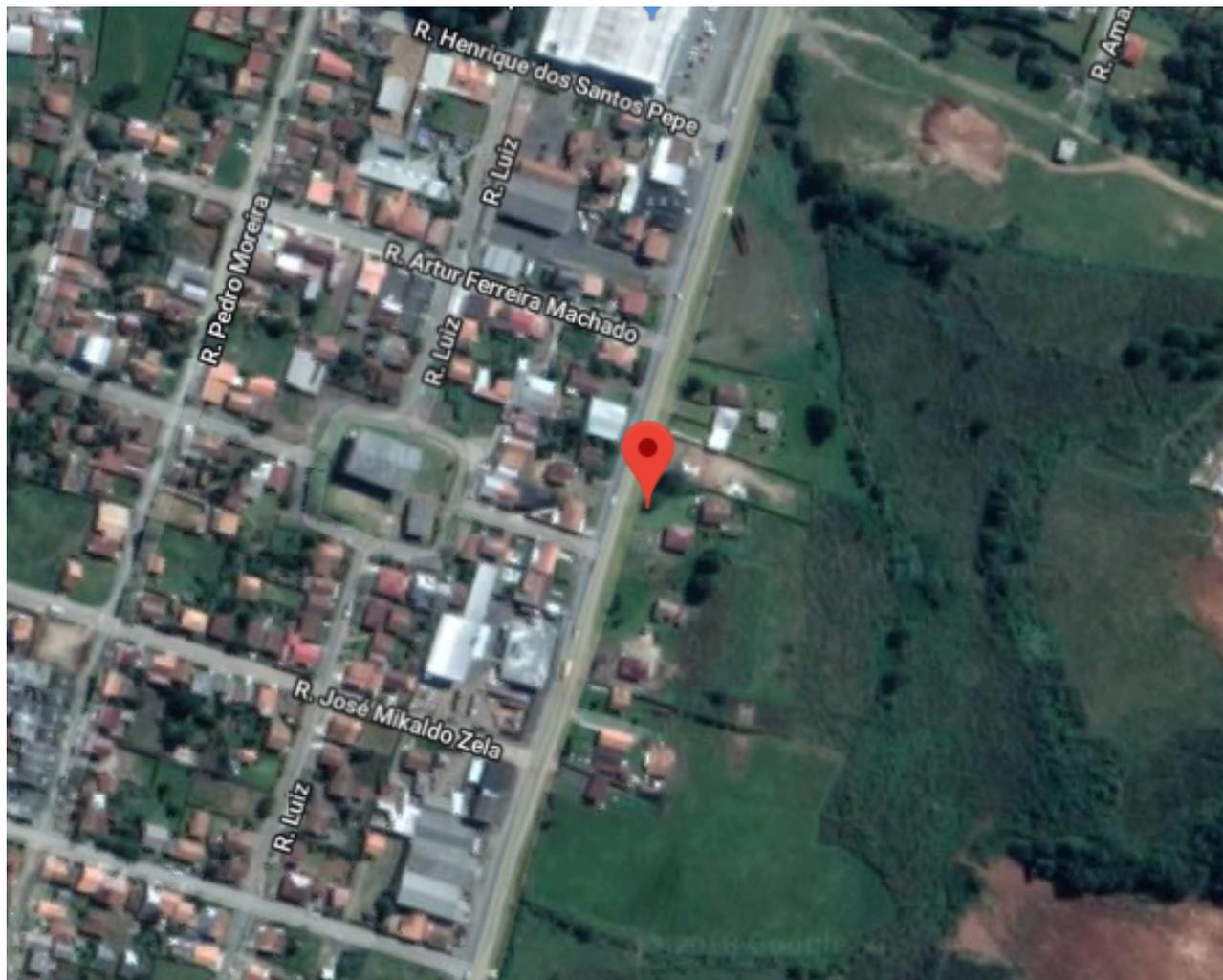
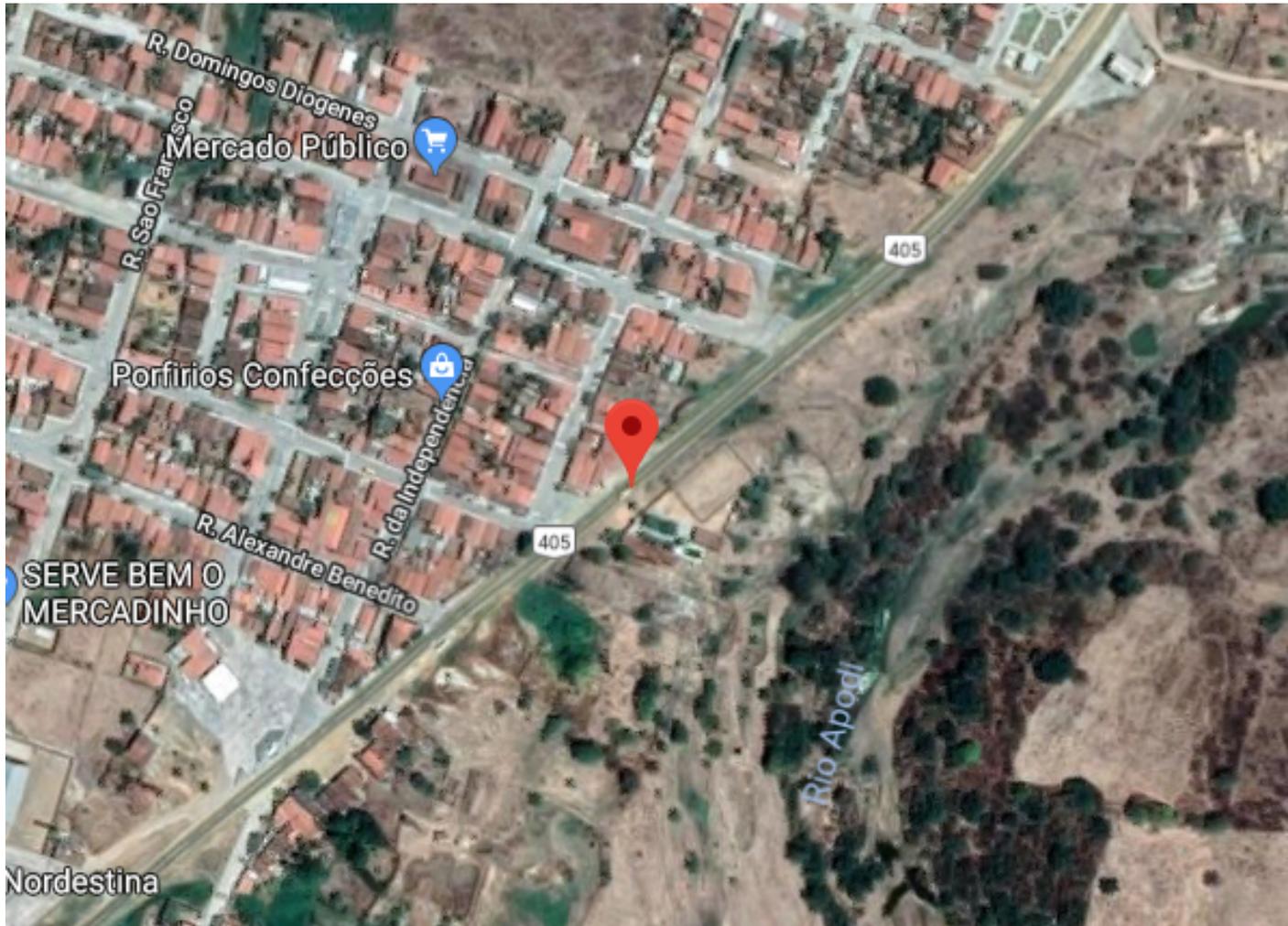


Figura B.0.5 PT5, BR 153, PR



**Figura B.0.6** PT6, BR 405, RN

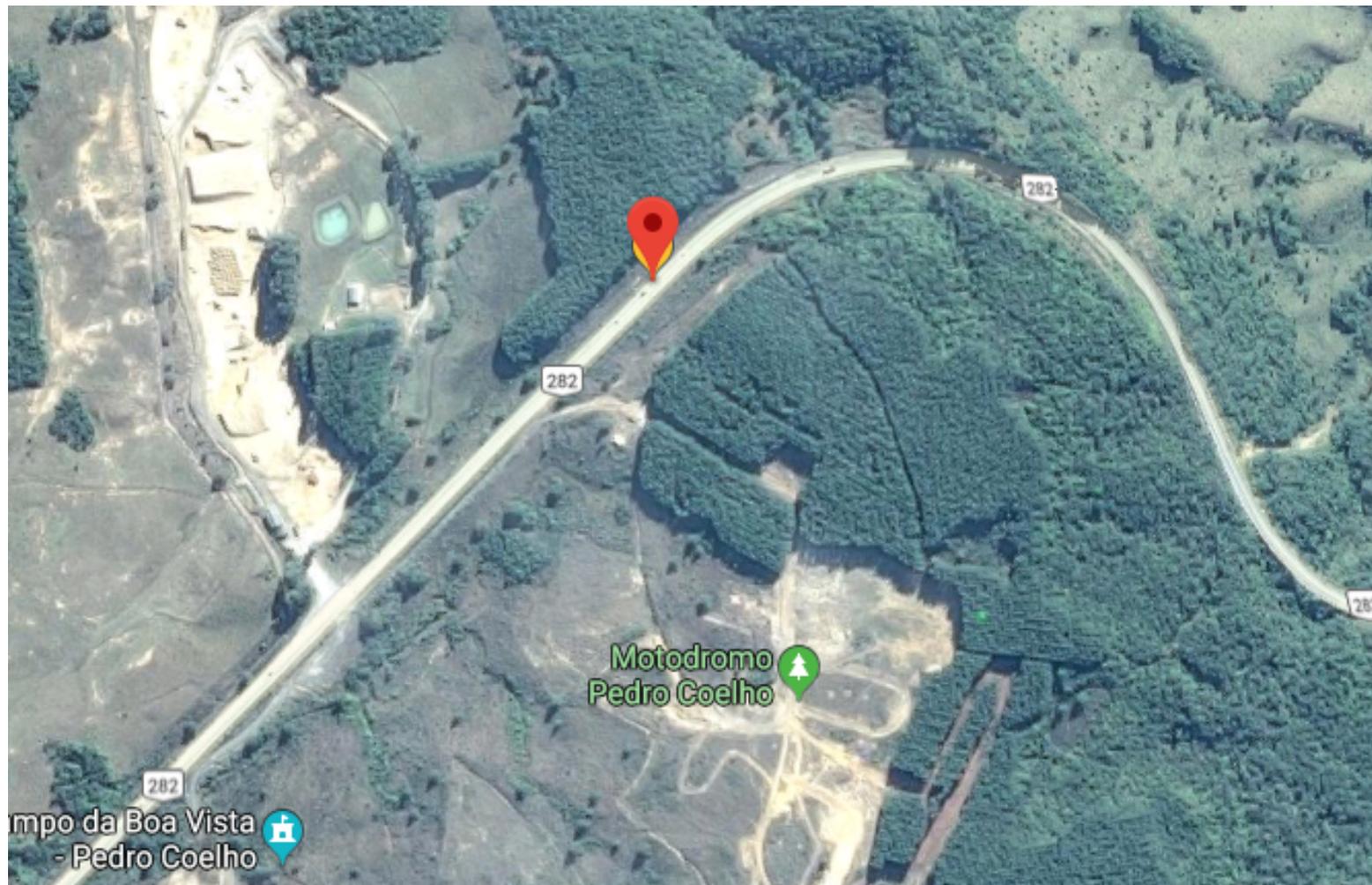


Figura B.0.7 PT7, BR 282, SC

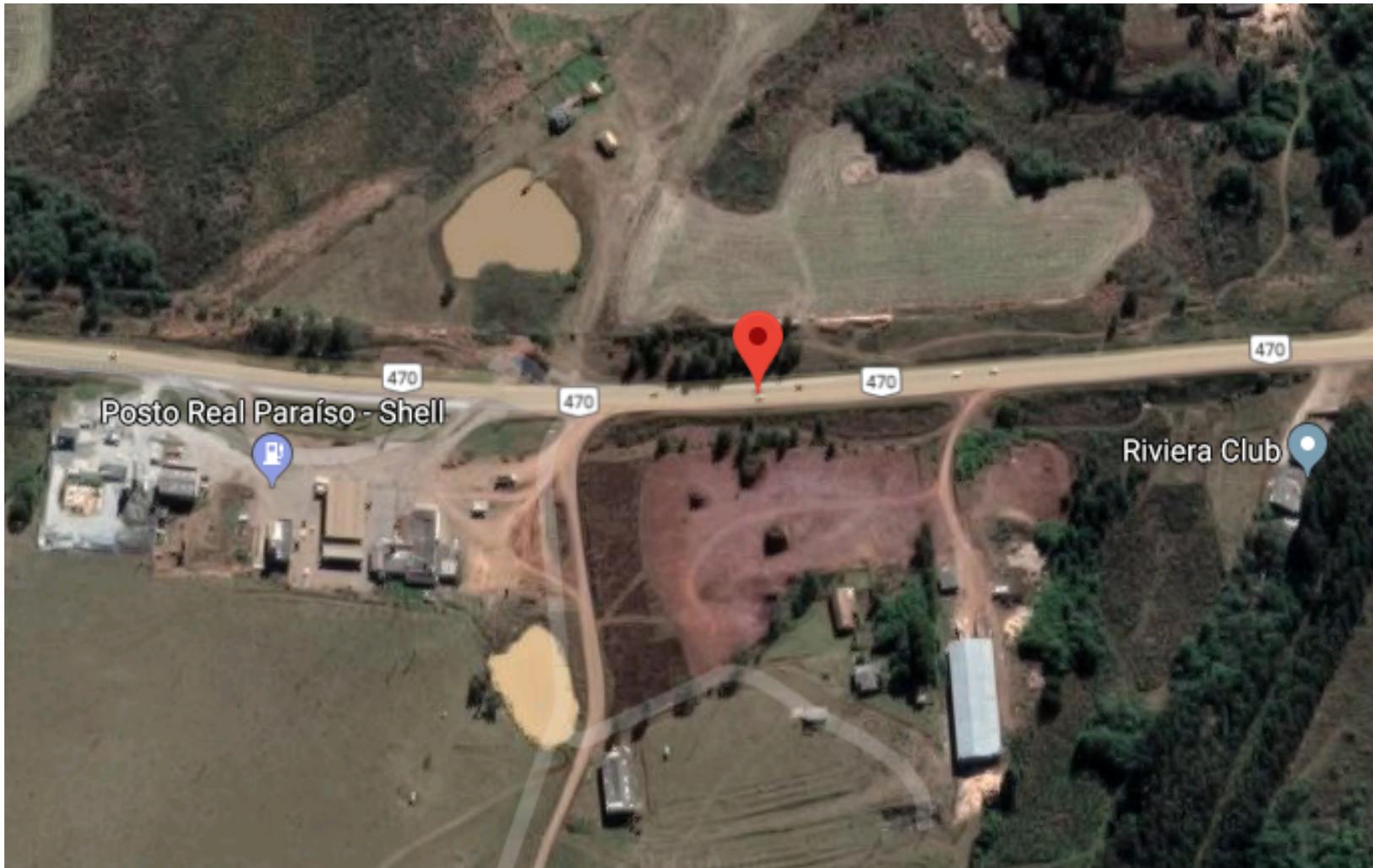
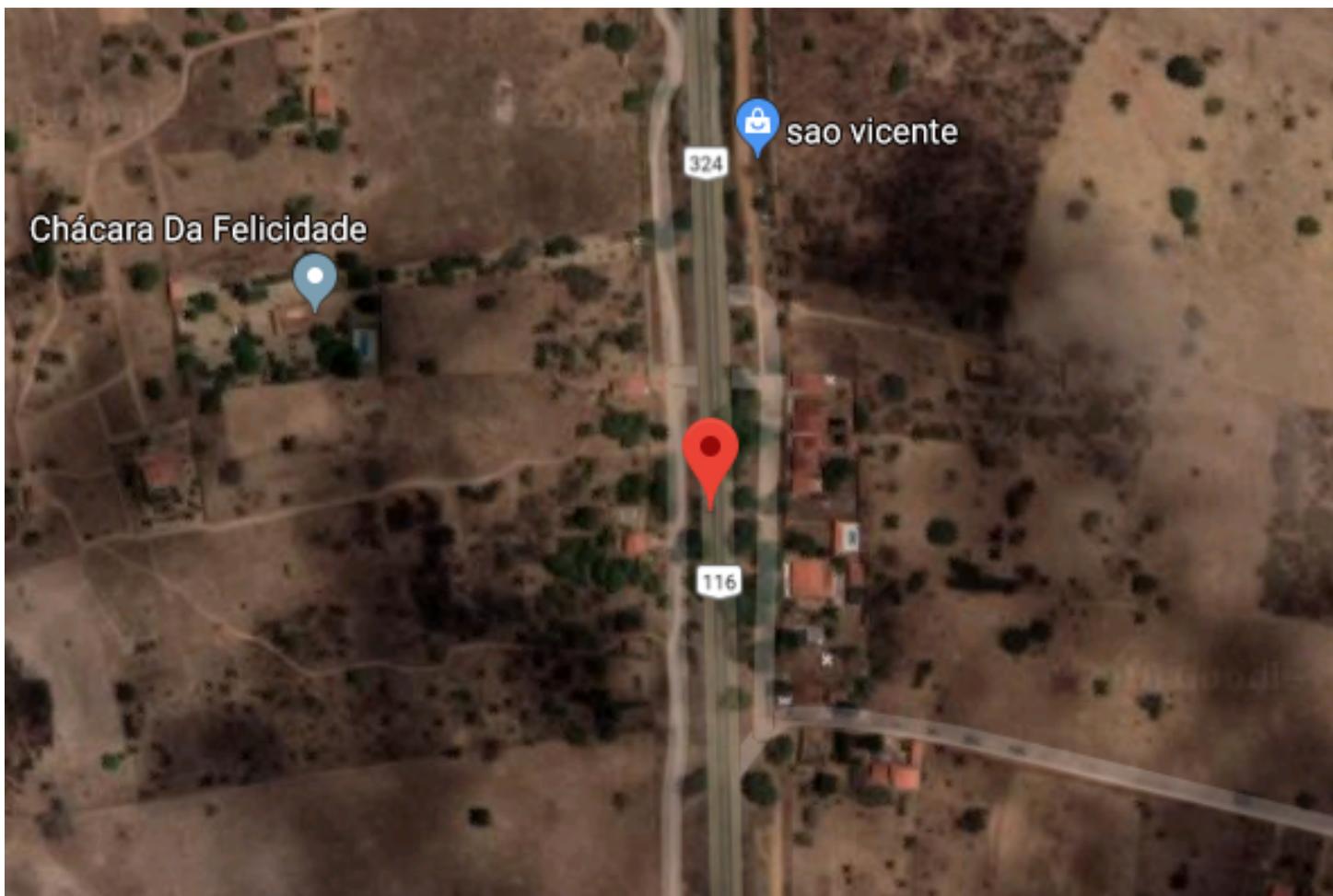


Figura B.0.8 PT8, BR 470, SC

**APÊNDICE C – LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS DE CONTROLE**



**Figura C.0.1 PC1, BR 101/BA**



**Figura C.0.2** PC2, BR 116/BA



Figura C.0.3 PC3, BR 116/BA

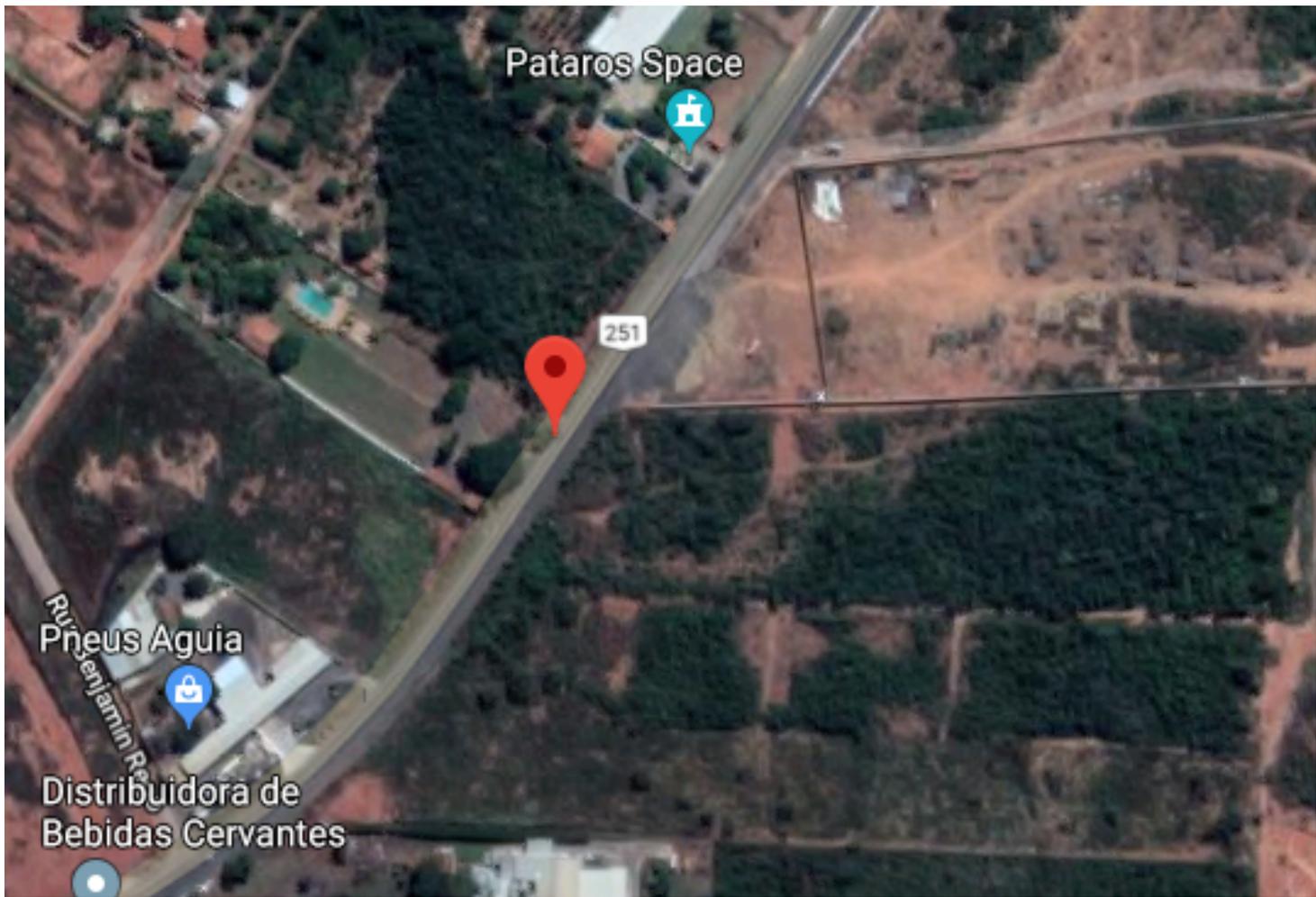


Figura C.0.4 PC4, BR 251/MG



**Figura C.0.5 PC5, BR 153/PR**

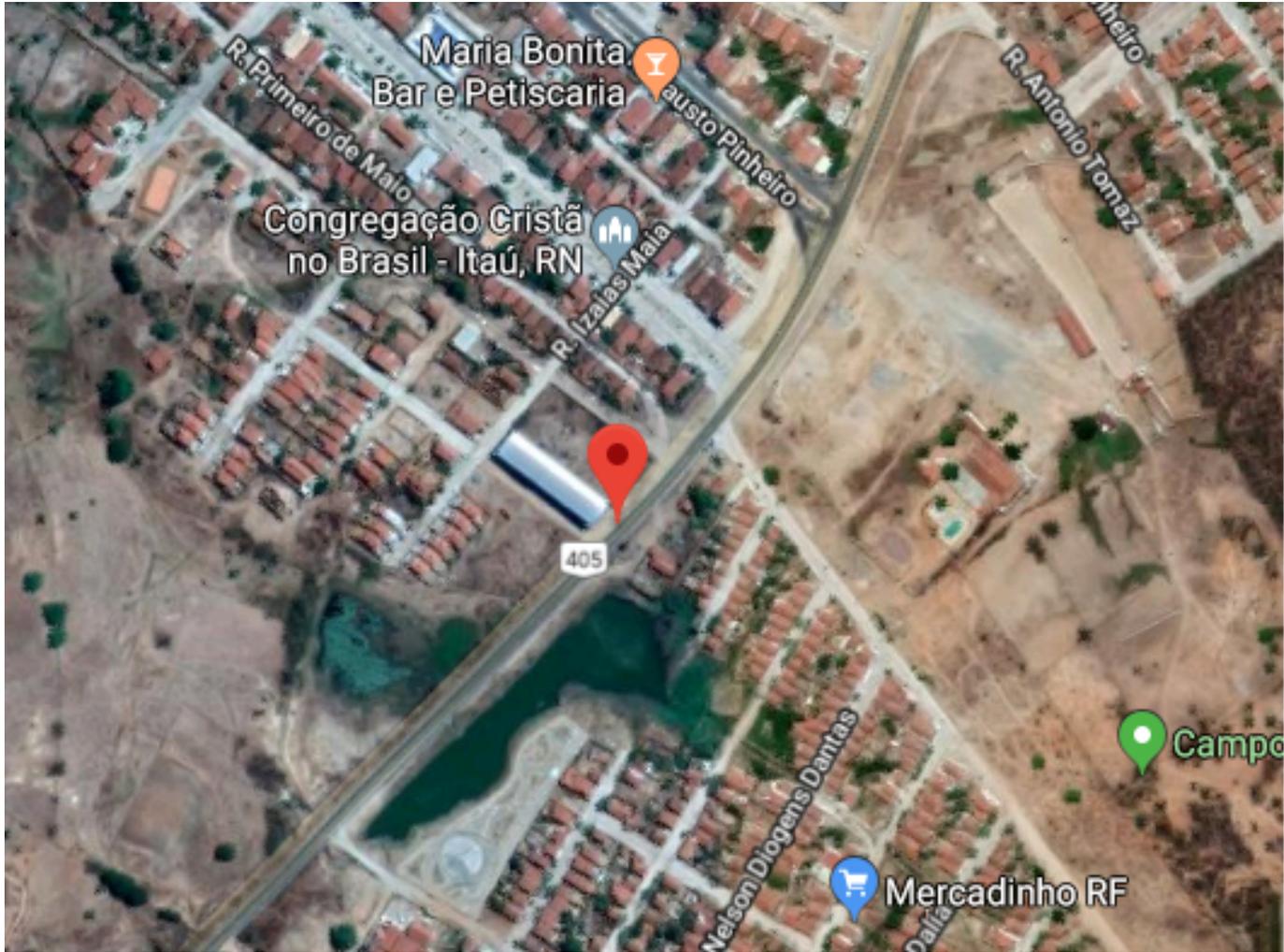
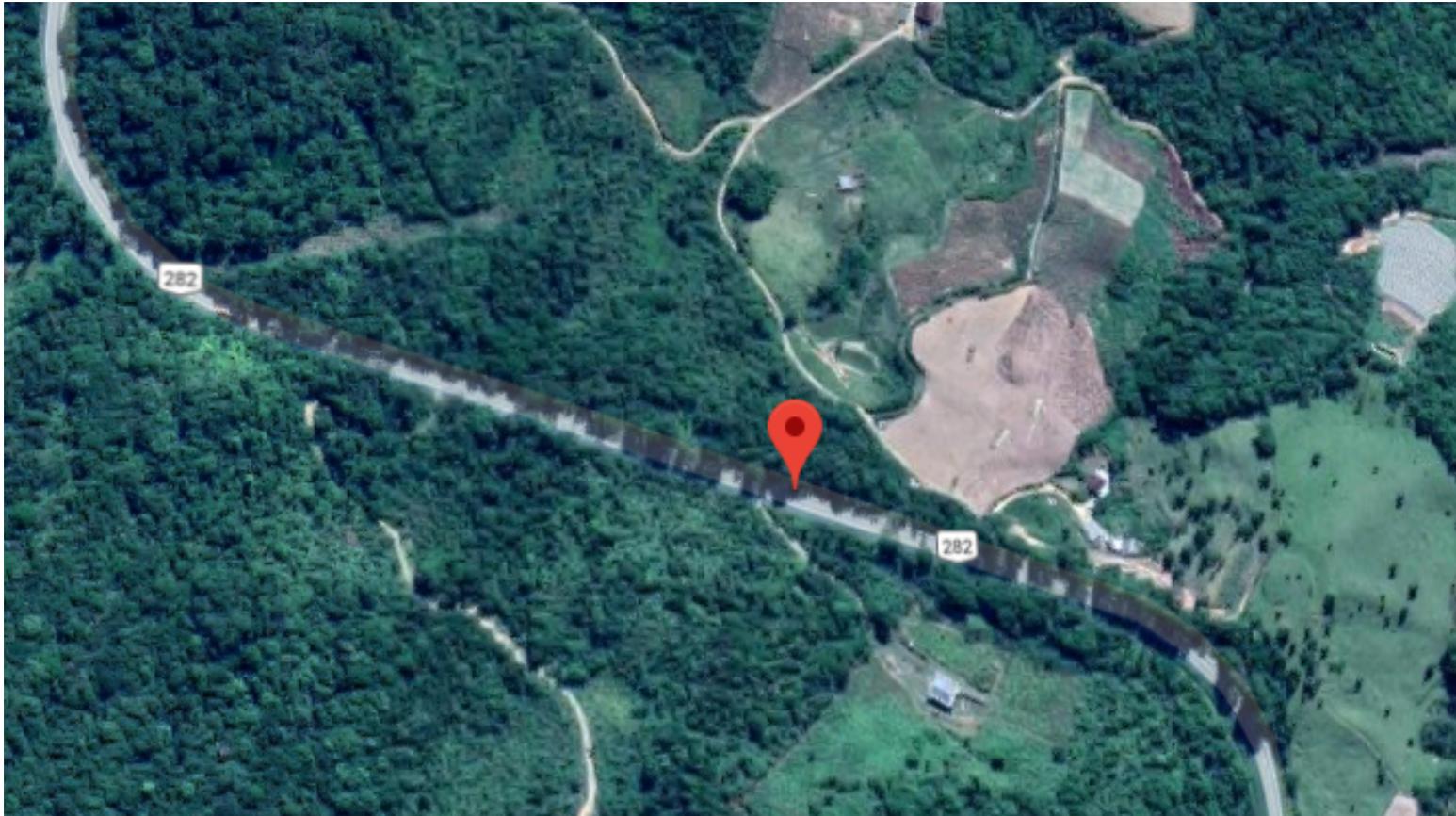


Figura C.0.6 PC6, BR 405/RN



**Figura C.0.7 PC7, BR 282/SC**

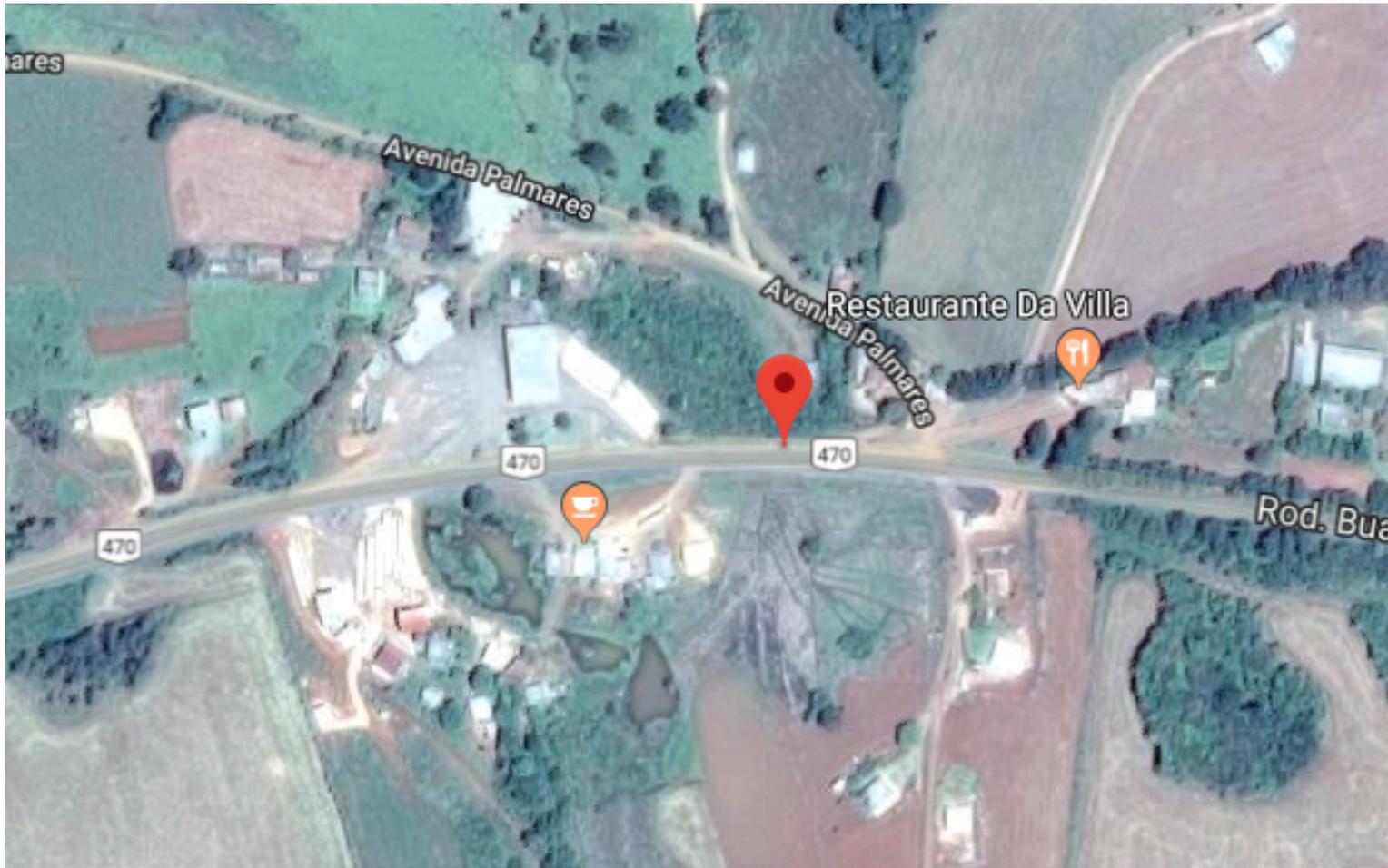


Figura C.0.8 PC8, BR 470/SC

## APÊNDICE D – MAPA DE REPRESENTAÇÃO DO CEV E SEU RESPECTIVO CONTADOR CONTÍNUO.

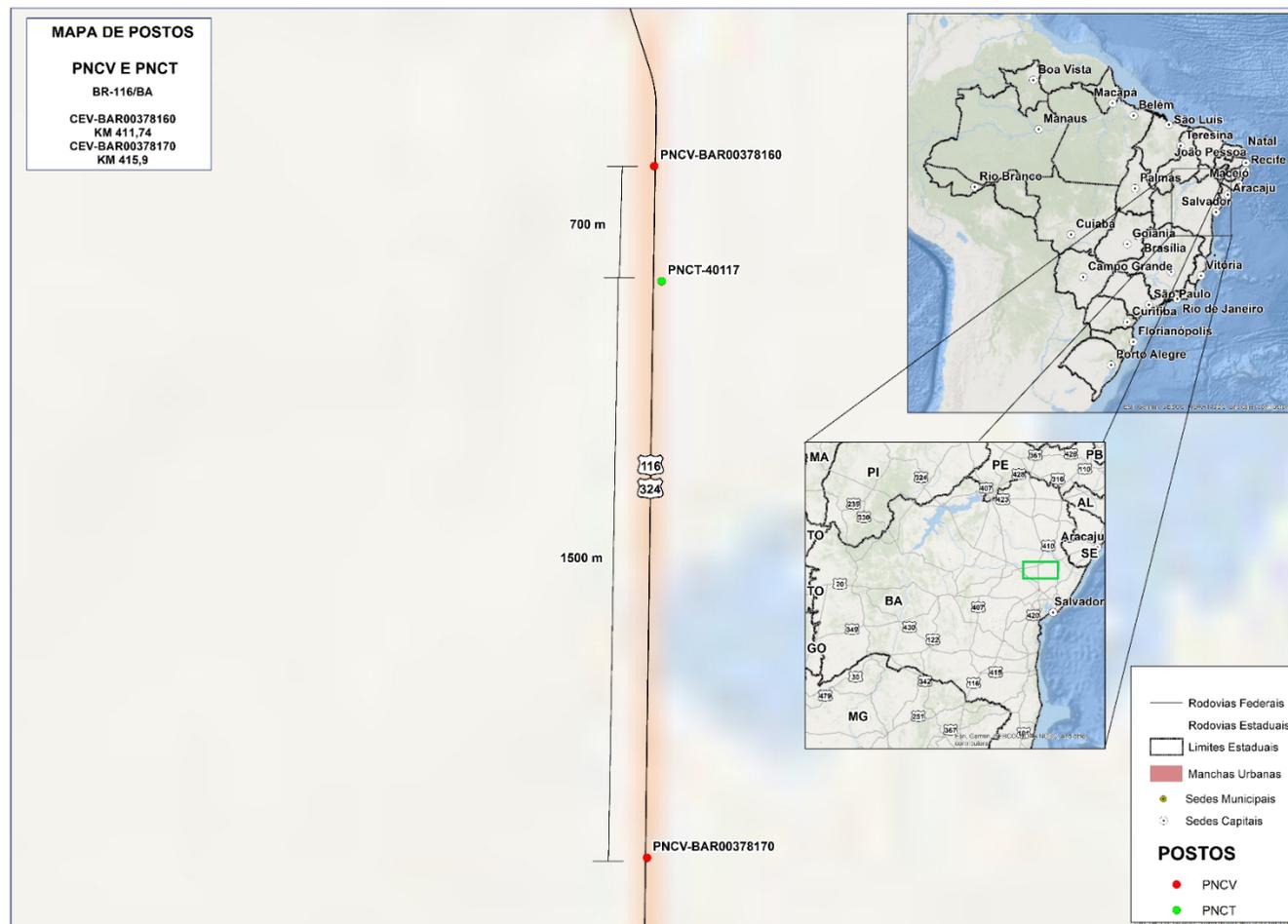


Figura D.0.1 Pontos PT2 e PT3

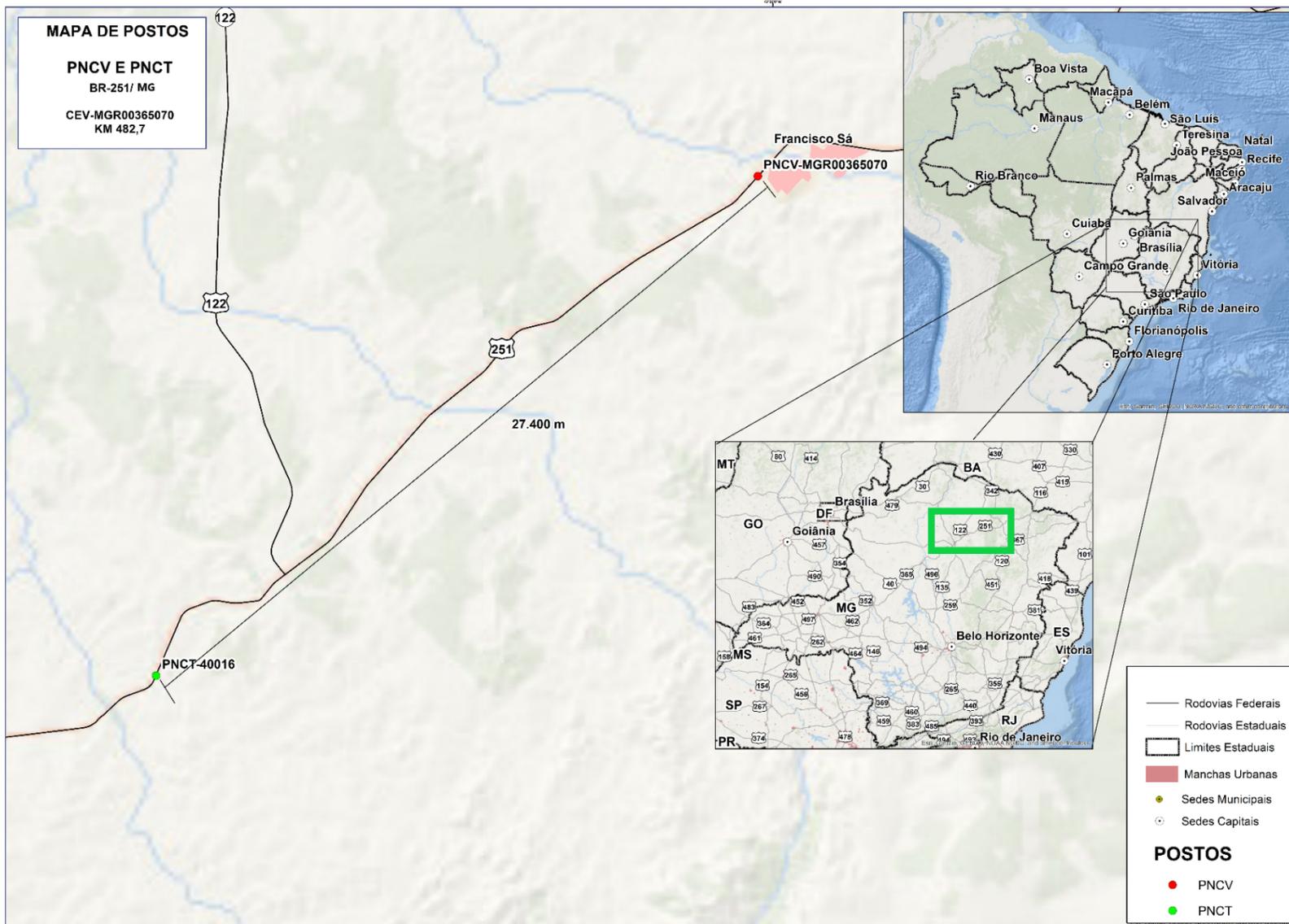


Figura D.0.2 Ponto PT4

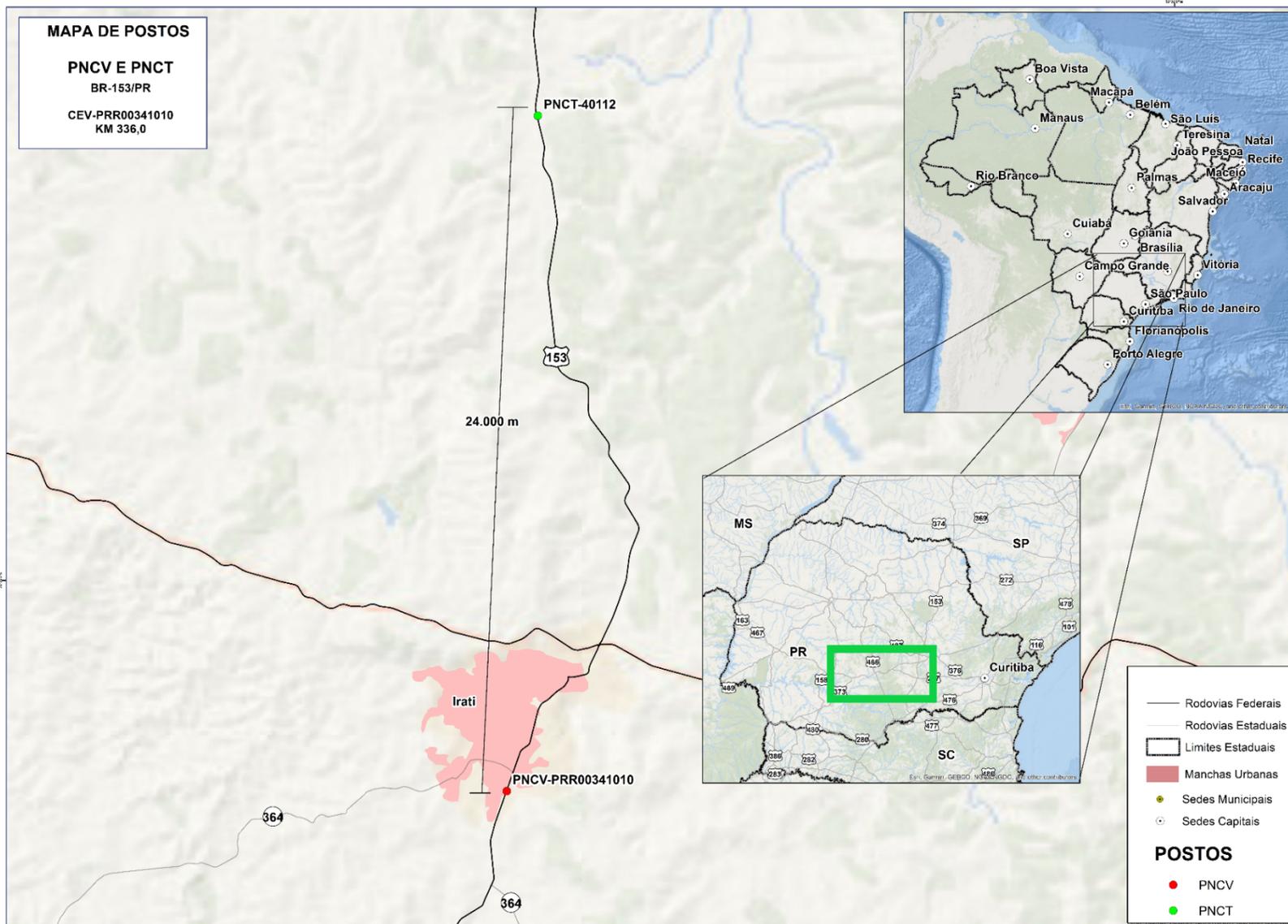


Figura D.0.3 Ponto PT5

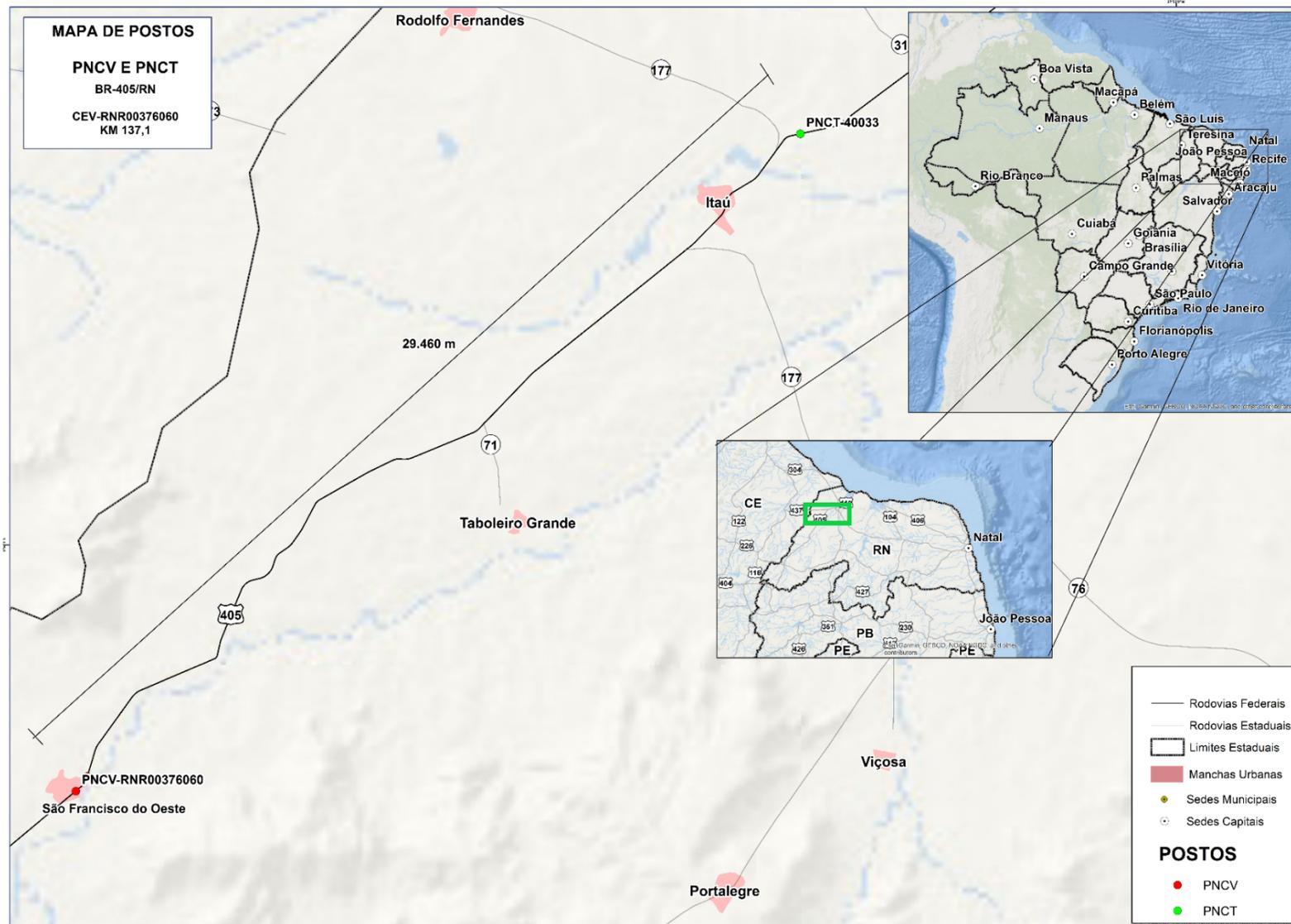


Figura D.0.4 Ponto PT6

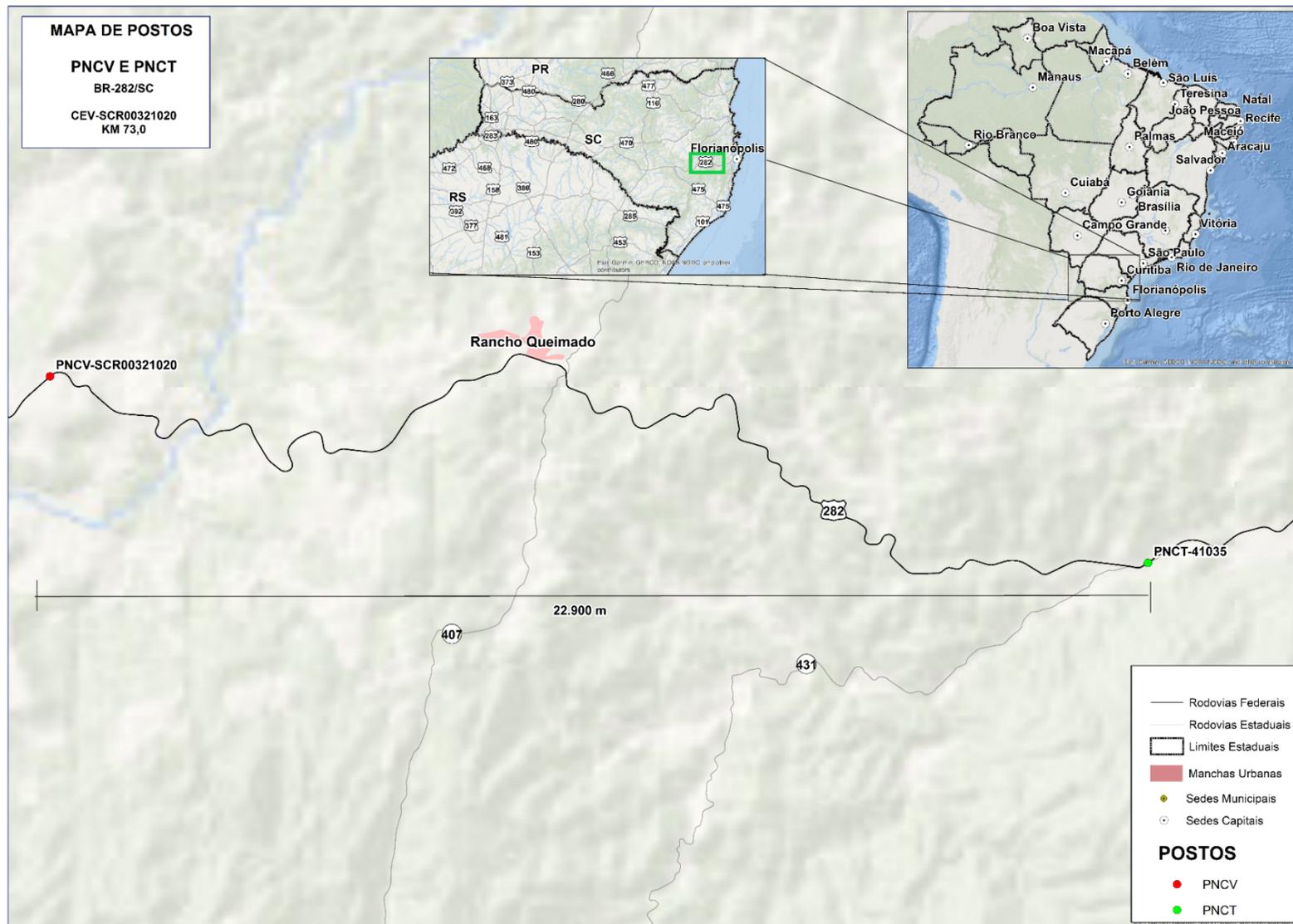
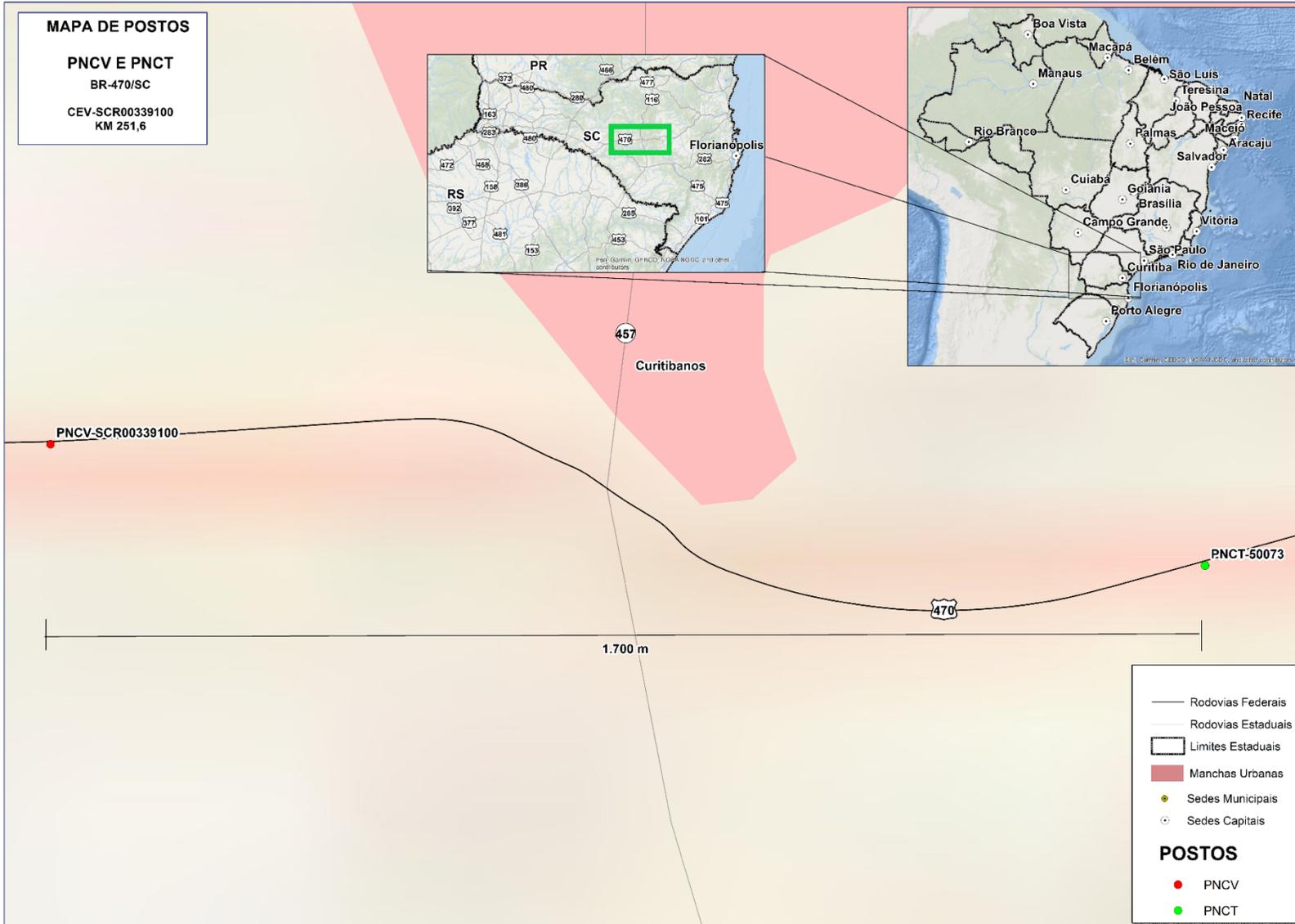


Figura D.0.5 Ponto PT7



**Figura D.0.6 Ponto PT8**

## APÊNDICE E – TOTAL DE ACIDENTES EM CADA CONJUNTO DE PONTOS

**Tabela E.0.1 Número de Acidentes para ponto tratado PT2, BR-101/BA**

OPERAÇÃO EM 07/08/2014		Nº ACIDENTES	
		c/MORTOS	c/FERIDOS
ANO ANTERIOR 3	07/08/2011 a 07/08/2012	1	11
ANO ANTERIOR 2	07/08/2012 a 07/08/2013	4	10
ANO ANTERIOR 1	07/08/2013 a 07/08/2014	1	9
ANO POSTERIOR 1	07/08/2014 a 07/08/2015	1	11
ANO POSTERIOR 2	07/08/2015 a 07/08/2016	1	2
ANO POSTERIOR 3	07/08/2016 a 07/08/2017	0	9

**Tabela E.0.2 Número de Acidentes para ponto controle PC2, BR-101/BA**

OPERAÇÃO EM 07/08/2014		Nº ACIDENTES	
		c/MORTOS	c/FERIDOS
ANO ANTERIOR 3	07/08/2011 a 07/08/2012	0	5
ANO ANTERIOR 2	07/08/2012 a 07/08/2013	0	4
ANO ANTERIOR 1	07/08/2013 a 07/08/2014	2	8
ANO POSTERIOR 1	07/08/2014 a 07/08/2015	2	4
ANO POSTERIOR 2	07/08/2015 a 07/08/2016	1	1
ANO POSTERIOR 3	07/08/2016 a 07/08/2017	0	2

**Tabela E.0.3 Número de Acidentes para ponto tratado PT3, BR-116/BA**

OPERAÇÃO EM 07/08/2014		Nº ACIDENTES	
		c/MORTOS	c/FERIDOS
ANO ANTERIOR 3	07/08/2011 a 07/08/2012	2	28
ANO ANTERIOR 2	07/08/2012 a 07/08/2013	1	14
ANO ANTERIOR 1	07/08/2013 a 07/08/2014	3	23
ANO POSTERIOR 1	07/08/2014 a 07/08/2015	1	19
ANO POSTERIOR 2	07/08/2015 a 07/08/2016	4	21
ANO POSTERIOR 3	07/08/2016 a 07/08/2017	1	11

**Tabela E.0.4 Número de Acidentes para local controle PC3, BR-116/BA**

OPERAÇÃO EM 07/08/2014		Nº ACIDENTES	
		c/MORTOS	c/FERIDOS
ANO ANTERIOR 3	07/08/2011 a 07/08/2012	0	5
ANO ANTERIOR 2	07/08/2012 a 07/08/2013	0	5
ANO ANTERIOR 1	07/08/2013 a 07/08/2014	2	8
ANO POSTERIOR 1	07/08/2014 a 07/08/2015	3	5
ANO POSTERIOR 2	07/08/2015 a 07/08/2016	2	1
ANO POSTERIOR 3	07/08/2016 a 07/08/2017	0	5

**Tabela E.0.5 Número de Acidentes para local Tratado PT4, BR-251/MG**

OPERAÇÃO EM 01/09/2014		Nº ACIDENTES	
		c/MORTOS	c/FERIDOS
ANO ANTERIOR 3	01/09/2011 a 01/09/2012	1	6
ANO ANTERIOR 2	01/09/2012 a 01/09/2013	0	2
ANO ANTERIOR 1	01/09/2013 a 01/09/2014	0	4
ANO POSTERIOR 1	01/09/2014 a 01/09/2015	0	1
ANO POSTERIOR 2	01/09/2015 a 01/09/2016	1	2
ANO POSTERIOR 3	01/09/2016 a 01/09/2017	1	6

**Tabela E.0.6 Número de Acidentes para local Controle PC4, BR-251/MG**

OPERAÇÃO EM 01/09/2014		Nº ACIDENTES	
		c/MORTOS	c/FERIDOS
ANO ANTERIOR 3	01/09/2011 a 01/09/2012	1	12
ANO ANTERIOR 2	01/09/2012 a 01/09/2013	0	12
ANO ANTERIOR 1	01/09/2013 a 01/09/2014	0	11
ANO POSTERIOR 1	01/09/2014 a 01/09/2015	1	7
ANO POSTERIOR 2	01/09/2015 a 01/09/2016	1	0
ANO POSTERIOR 3	01/09/2016 a 01/09/2017	0	6

**Tabela E.0.7 Número de Acidentes para local Tratado PT5, BR-153/PR**

OPERAÇÃO EM 02/09/2014		Nº ACIDENTES	
		c/MORTOS	c/FERIDOS
ANO ANTERIOR 3	02/09/2011 a 02/09/2012	0	22
ANO ANTERIOR 2	02/09/2012 a 02/09/2013	0	20
ANO ANTERIOR 1	02/09/2013 a 02/09/2014	1	15
ANO POSTERIOR 1	02/09/2014 a 02/09/2015	0	13
ANO POSTERIOR 2	02/09/2015 a 02/09/2016	3	18
ANO POSTERIOR 3	02/09/2016 a 02/09/2017	0	13

**Tabela E.0.8 Número de Acidentes para local Controle PC5, BR-153/PR**

OPERAÇÃO EM 02/09/2014		Nº ACIDENTES	
		c/MORTOS	c/FERIDOS
ANO ANTERIOR 3	02/09/2011 a 02/09/2012	0	2
ANO ANTERIOR 2	02/09/2012 a 02/09/2013	0	3
ANO ANTERIOR 1	02/09/2013 a 02/09/2014	1	0
ANO POSTERIOR 1	02/09/2014 a 02/09/2015	0	0
ANO POSTERIOR 2	02/09/2015 a 02/09/2016	0	3
ANO POSTERIOR 3	02/09/2016 a 02/09/2017	1	1

**Tabela E.0.9 Número de Acidentes para local Tratado PT6, BR-405/RN**

OPERAÇÃO EM 30/07/2014		Nº ACIDENTES	
		c/MORTOS	c/FERIDOS
ANO ANTERIOR 3	30/07/2011 a 30/07/2012	0	1
ANO ANTERIOR 2	30/07/2012 a 30/07/2013	1	2
ANO ANTERIOR 1	30/07/2013 a 30/07/2014	0	2
ANO POSTERIOR 1	30/07/2014 a 30/07/2015	0	1
ANO POSTERIOR 2	30/07/2015 a 30/07/2016	0	0
ANO POSTERIOR 3	30/07/2016 a 30/07/2017	0	0

**Tabela E.0.10 Número de Acidentes para local Controle PC6, BR-405/RN**

OPERAÇÃO EM 30/07/2014		Nº ACIDENTES	
		c/MORTOS	c/FERIDOS
ANO ANTERIOR 3	30/07/2011 a 30/07/2012	0	0
ANO ANTERIOR 2	30/07/2012 a 30/07/2013	0	3
ANO ANTERIOR 1	30/07/2013 a 30/07/2014	2	1
ANO POSTERIOR 1	30/07/2014 a 30/07/2015	0	2
ANO POSTERIOR 2	30/07/2015 a 30/07/2016	0	0
ANO POSTERIOR 3	30/07/2016 a 30/07/2017	0	0

**Tabela E.0.11 Número de Acidentes para local Tratado PT7, BR-282/SC**

OPERAÇÃO EM 05/09/2014		Nº ACIDENTES	
		c/MORTOS	c/FERIDOS
ANO ANTERIOR 3	05/09/2011 a 05/09/2012	0	9
ANO ANTERIOR 2	05/09/2012 a 05/09/2013	0	17
ANO ANTERIOR 1	05/09/2013 a 05/09/2014	1	19
ANO POSTERIOR 1	05/09/2014 a 05/09/2015	1	8
ANO POSTERIOR 2	05/09/2015 a 05/09/2016	0	6
ANO POSTERIOR 3	05/09/2016 a 05/09/2017	0	13

**Tabela E.0.12 Número de Acidentes para local controle PC7, BR-282/SC**

OPERAÇÃO EM 05/09/2014		Nº ACIDENTES	
		c/MORTOS	c/FERIDOS
ANO ANTERIOR 3	05/09/2011 a 05/09/2012	2	5
ANO ANTERIOR 2	05/09/2012 a 05/09/2013	0	10
ANO ANTERIOR 1	05/09/2013 a 05/09/2014	1	8
ANO POSTERIOR 1	05/09/2014 a 05/09/2015	0	10
ANO POSTERIOR 2	05/09/2015 a 05/09/2016	1	17
ANO POSTERIOR 3	05/09/2016 a 05/09/2017	1	14

**Tabela E.0.13 Número de Acidentes para local Tratado PT8, BR-470/SC**

OPERAÇÃO EM 16/09/2014		Nº ACIDENTES	
		c/MORTOS	c/FERIDOS
ANO ANTERIOR 3	16/09/2011 a 16/09/2012	3	5
ANO ANTERIOR 2	16/09/2012 a 16/09/2013	0	4
ANO ANTERIOR 1	16/09/2013 a 16/09/2014	0	8
ANO POSTERIOR 1	16/09/2014 a 16/09/2015	1	4
ANO POSTERIOR 2	16/09/2015 a 16/09/2016	2	6
ANO POSTERIOR 3	16/09/2016 a 16/09/2017	0	1

**Tabela E.0.14 Número de Acidentes para local Controle PC8, BR-470/SC**

OPERAÇÃO EM 16/09/2014		Nº ACIDENTES	
		c/MORTOS	c/FERIDOS
ANO ANTERIOR 3	16/09/2011 a 16/09/2012	1	1
ANO ANTERIOR 2	16/09/2012 a 16/09/2013	1	3
ANO ANTERIOR 1	16/09/2013 a 16/09/2014	0	3
ANO POSTERIOR 1	16/09/2014 a 16/09/2015	0	2
ANO POSTERIOR 2	16/09/2015 a 16/09/2016	2	1
ANO POSTERIOR 3	16/09/2016 a 16/09/2017	1	0

## APÊNDICE F – DESCRIÇÃO DO CONJUNTO DE PONTOS

### Local Tratado: PT1, BR-101/BA – 12°09'21.8"S 38°24'23.5"W

O equipamento encontra-se no Km 109,590 da BR 101 – Bahia. Encontravam-se disponíveis imagens dos anos de 2011, 2012, 2013, 2015, 2016 e 2018; o local manteve-se praticamente o mesmo, sendo trecho retilíneo, pista simples, proibida ultrapassagem e acostamento em ambos os lados. A aproximadamente 150m do equipamento existe uma avenida perpendicular à rodovia. O local encontra-se entre duas intersecções, e tem uma pista lateral pavimentada separada por canteiro, que dá acesso à uma fábrica de bebidas.

### Local Controle: PC1, BR-101/BA – 12°05'06.4"S 38°21'08.6"W

O local controle encontra-se a 10,8 km do local tratado, estando localizado no km 98,790 da mesma rodovia. Encontravam-se disponíveis imagens dos anos de 2012, 2015, 2016 e 2018; mantendo-se praticamente o mesmo com trecho retilíneo, pista simples com acostamento em ambos os lados, proibida ultrapassagem e acostamento em ambos os lados. Existe um posto de gasolina a aproximadamente 150 m que aparece desde o ano de 2012. Além disso, existe outro CEV no km 103,78.

### Local Tratado: PT2, BR-116/BA – 12°09'08.6"S 38°57'53.3"W

O equipamento encontra-se no Km 411,740 da BR 116 – Bahia. Encontravam-se disponíveis imagens dos anos de 2012, 2014, 2015 e 2017; apenas a construção de um galpão a partir de 2014 apareceu nas imagens. Trecho com uma curva bem suave a aproximadamente 300 metros, pista simples com acostamento em ambos os lados, proibida ultrapassagem. Uma margem possui uma escola e um local para eventos; a outra apenas um muro. O local fica entre uma interseção e uma avenida perpendicular à rodovia.

### Local Controle: PC2, BR-116/BA – 12°04'37.9"S 38°58'10.3"W

A 8,4 km do local tratado, o local também está em trecho retilíneo e está localizado no Km 403, 34. Encontravam-se disponíveis imagens dos anos de 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 e 2017

Possui pista simples, com acostamento em ambos os lados e ultrapassagem permitida em apenas um lado. Possui algumas residências e muitas árvores nas margens da rodovia. Existe um CEV no Km 390,75.

Local Tratado: PT3, BR-116/BA - 12°11'22.9"S 38°57'54.7"W.

Este está a pouco mais de 4 km do PT2, ou seja, localizado também na BR 116 – Bahia, Km 415,900. Encontravam-se disponíveis imagens dos anos de 2011, 2012, 2014, 2015 e 2017. Pista simples, acostamento em ambos os lados com pavimentação em paralelepípedo, proibida ultrapassagem. Trecho retilíneo com uma visibilidade boa. Grande diversidade de residências, vegetação e pontos de venda nas margens da rodovia, estes já aparecem nas imagens de 2017.

Local Controle: PC3, BR-116/BA - 12°05'00.5"S 38°58'09.5"W.

Localizado no Km 404,0, está a 11,9 km de distância do local tratado. Encontravam-se disponíveis imagens dos anos de 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 e 2017. Pista simples, com acostamento pavimentado. Também é trecho retilíneo com boa visibilidade. Possui um posto de gasolina próximo, tem uma lombada física e é proibida a ultrapassagem. Grande diversidade de residências, vegetação e pontos de venda nas margens da rodovia.

Local Tratado: PT4, BR-251/MG - 16°28'48.0"S 43°30'17.6"W:

Local encontra-se no km 482,700, da BR – 251, Minas Gerais. Encontravam-se disponíveis imagens dos anos de 2011, 2012 e 2018; local praticamente sem modificações, exceto que até o ano de 2012 ele não possuía defesa nas laterais da rodovia. Pista simples, com acostamento pavimentado em ambos os lados e proibida ultrapassagem. Trecho retilíneo com início de curva em aproximadamente 1 km distante do equipamento.

Local Controle: PC4, BR-251/MG - 16°40'53.2"S 43°48'10.9"W

Localizado no km 523,7, está a 41 km do local controle. Encontravam-se disponíveis imagens dos anos de 2011, 2012 e 2018; local praticamente sem modificações. Pista simples, com acostamento pavimentado em ambos os lados e proibida ultrapassagem. Não tem defesa como no local tratado e possui bastante vegetação nas margens da rodovia.

Local Tratado: PT5, BR-153/PR - 25°30'03.5"S 50°38'57.3"W.

Localizado no km 336 da BR-153, Paraná. Encontravam-se disponíveis imagens dos anos de 2011 e 2014; local praticamente sem modificações. Pista simples com acostamento em ambos os lados e proibido ultrapassagem. Existe uma lombada física a aproximadamente 100 metros e outro cev a 300 metros. Possui várias residências às margens da rodovia.

Local Controle: PC5, BR-153/PR - 25°14'19.8"S 50°37'06.3"W

Distante a 33 km do local tratado, este local está inserido no km 303 da BR-153, Paraná. Encontravam-se disponíveis imagens dos anos de 2012 e 2014; local praticamente sem modificações. Também possui pista simples, mas sem acostamento. Não é permitida ultrapassagem.

Local Tratado: PT6, BR-405/RN - 5°59'59.4"S 38°09'58.3"W

Localizado no km 137,1 da BR-405, Rio Grande do Norte. Encontravam-se disponíveis imagens apenas de 2017. Pista simples, sem acostamento e proibida ultrapassagem. Existe uma curva suave a 300 metros, aproximadamente. Tem outros cev no km 136,1 e no km 150,6.

Local Controle: PC6, BR-405/RN - 5°50'41.5"S 37°59'27.5"W

O local encontra-se no km 110,1, ou seja, a 27 km do local tratado. Encontravam-se disponíveis imagens dos anos de 2012 e 2017. Pista simples, sem acostamento e proibida ultrapassagem. Existe uma curva suave também após o equipamento e um cev operando no km 109,420 a pouco menos de 1 km do ponto escolhido.

Local Tratado: PT7, BR-282/SC - 27°40'52.8"S 49°06'47.8"W:

Localizado no final de uma curva fechada, no km 73 da BR-282, Santa Catarina. Encontravam-se disponíveis imagens dos anos de 2011, 2014, 2017 e 2018. O local possui pista simples com acostamento em ambos os lados e permitida ultrapassagem em apenas um lado. Trecho total rural, com muita vegetação. O cev mais próximo encontra-se no km 44 e km 79.

Local Controle: PC7, BR-282/SC - 27°41'43.4"S 48°58'00.2"W

Localiza a 20,7 km do local tratado. Encontravam-se disponíveis imagens dos anos de 2011, 2013, 2014, 2015 e 2017. Possui pista simples e acostamento de ambos os lados e permitida ultrapassagem em apenas um lado. O trecho também é totalmente rural e encontra-se no final de uma curva, com margem de vegetação alta. O radar mais próximo encontra-se no km 44.

Local Tratado: PT8, BR-470/SC - 27°18'43.7"S 50°35'06.9"W

Localizado no km 251,6 da BR-470, Santa Catarina. Encontravam-se disponíveis imagens apenas de 2011. Possui pista simples com acostamento em ambos os lados. Fica entre uma pequena extensão de vegetação alta, mais a frente, existe uma avenida que corta a BR e um posto de gasolina. Fica a 500 metros de uma interseção. Trecho em sua maioria retilíneo e proibido ultrapassar. Existe um radar no km 249,6, ou seja, a 3km do radar em estudo.

Local Controle: PC8, BR-470/SC - 27°19'41.4"S 50°48'27.8"W

Localizado no km 275,4, está a 23,8 km do local do tratado. Encontravam-se disponíveis imagens apenas de 2011. Pista simples com acostamento em ambos os lados e proibido ultrapassar. Existe um posto de gasolina a frente do trecho, que, em sua maioria, é retilíneo. Existe um radar no km 292, ou seja a 16,4 km a frente.

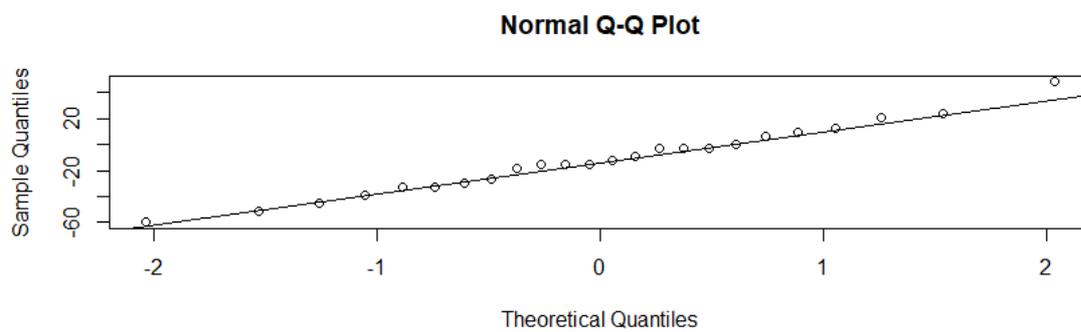
## APÊNDICE G – RELATÓRIO DO TESTE $t$

Saídas do *Software R*®

```
> shapiro.test(dif_rd)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  dif_rd
W = 0.98852, p-value = 0.9916
```



```
> t.test(dif_rd,mu=0,alternative = c("less"),conf.level = 0.95)

      One Sample t-test

data:  dif_rd
t = -2.337, df = 23, p-value = 0.01425
alternative hypothesis: true mean is less than 0
95 percent confidence interval:
      -Inf -3.233029
sample estimates:
mean of x
      -12.125
```