U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE RESULTADOS DE MEDIDAS DE REDUÇÃO DO RISCO DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS

Aplicação à Rede de Autoestradas da Ascendi

BIANCA PRISCILA DOS SANTOS ALVES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL

ESPECIALIZAÇÃO EM PLANEAMENTO DO TERRITÓRIO E TRANSPORTES

Orientadora: Professora Doutora Sara Maria Pinho Ferreira

MARÇO DE 2023

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2022/2023

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2022/2023 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2023*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Dedico essa dissertação à minha mãe,
pelo incentivo diário para que eu chegasse até aqui

"If you're going to try, go all the way. Otherwise, don't even start."
Charles Bukowski

AGRADECIMENTOS

Gratidão é a palavra que define meu sentimento ao terminar essa dissertação e assim encerrar mais um ciclo na minha vida. Definitivamente isso não teria sido possível sem a colaboração de diversas pessoas, não só neste último semestre como durante todos esses anos de estudos.

Primeiramente agradeço à minha mãe, que desde sempre prezou pela minha educação e me incentivou nas minhas decisões. Sei que a mais difícil de aceitar foi a minha escolha de estudar do outro lado do oceano, mas sou grata por ter me apoiado. Obrigada pelas videochamadas diárias para fofocar e desabafar sobre a vida, assim a saudade se tornou algo mais fácil de lidar, e principalmente obrigada pela motivação em todas as vezes que achei que não fosse conseguir chegar até aqui.

Aos meus avós maternos portugueses, que apesar de não estarem mais aqui, tiveram a sua contribuição na minha decisão em estudar em Portugal por despertarem meu interesse na cultura que faz parte das minhas origens.

Durante meu percurso académico na FEUP tive a sorte de conhecer amigos incríveis que estiveram sempre ao meu lado, apoiando não só nos estudos como também na vida, tornando memoráveis esses últimos anos. Agradecimento especial a Daniel Valverde, Caroline Machado e Suelaine Moraes, não consigo traduzir em palavras toda a importância que vocês tiveram, e à Isabela Tem Tem, minha primeira amiga em Portugal, que me acolheu e esteve comigo quando mais precisei.

Agradeço à Professora Sara Ferreira, por ter aceitado me orientar neste projeto, por toda a disponibilidade, pela compreensão, paciência e recomendações, que resultaram em contribuições valiosas para este trabalho. Ao engenheiro João Neves pela oportunidade em realizar a dissertação do meu mestrado em ambiente empresarial, por ter auxiliado sempre que precisei e me orientado internamente face às minhas necessidades em termos de dados e recursos da Ascendi.

Obrigada ao engenheiro Carlos Oliveira, por todos os conselhos, opiniões e conhecimentos profissionais que tiveram um contributo primordial à minha tese, solucionando todas as minhas dúvidas e garantindo que eu tivesse todos os dados necessários para fundamentar meus processos de decisões.

Realizar a dissertação na Ascendi foi uma experiência incrível e o acolhimento que tive com certeza tornou este semestre estressante mais leve, destaco o apoio que tive de Telma, Eduardo, Rafael, Diana, Sofia, Nuno, Márcia e Inês, com aconselhamentos sobre a minha tese, sem deixar de agradecer a todos que fizeram parte do meu dia a dia na Ascendi. Consegui vivenciar e constatar que um ambiente de trabalho bem integrado realmente é um bom impulsionador, vou sentir falta das pausas para o café.

Não posso deixar de mencionar minhas açorianas preferidas Vanessa e Mariana, pela força dada todas as vezes que me viam na sala de estudos do prédio, e por estarem presentes sempre que possível para me fazer companhia (mesmo algumas tenham sido às custas da exploração da minha brasileirice por eu sempre fazer brigadeiro para nós). Não poderia ter lugar melhor para se morar, gratidão.

À Daniela Dulcini, que também esteve a elaborar uma dissertação ao longo do último semestre, obrigada. Realizar uma tese não é algo simples, não digo só academicamente, mas também mentalmente. Existem momentos exaustivos e ter alguém ao seu lado que compreenda isso por estar a passar pela mesma situação é fortalecedor, foi crucial para mim todo o compartilhamento de experiências e de palavras amigas. Por meio da motivação mútua, conseguimos finalmente concluir essa jornada.

Por último e mais importante, um agradecimento ao meu pai, que faleceu longe de mim apenas 2 meses após minha chegada em Portugal. Gostaria que tivesse me visto formar, mas apesar de não ter me acompanhado durante a realização da minha faculdade, tenho certeza que ficaria orgulhoso, e, como sempre fazia, iria-se gabar para todos da filha que tem e que se tornou Engenheira Civil.

Assim concluo mais uma etapa na minha vida. Ansiosa pelos próximos capítulos.

RESUMO

A segurança rodoviária assume um papel fundamental na prevenção da ocorrência de acidentes, ao estudar os locais que possuem sinistralidade elevada, e propor medidas de mitigação. Após a implementação dessas medidas é importante que haja uma avaliação da efetividade dessas medidas, nomeadamente pela comparação entre o número de acidentes pós intervenção e os seus valores anteriores. A monitorização dessa efetividade através da frequência de acidentes pode servir como suporte para o processo de decisão na aplicação de medidas de mitigação e/ou prevenção dos acidentes.

Neste contexto, o trabalho desenvolvido possui caráter exploratório para seleção de metodologias que quantifiquem a eficácia das intervenções, de acordo com dados disponíveis, características locais, complexidade e precisão pretendida. Para a aplicação das metodologias na prática e investigação dos resultados, foram selecionados seis locais da rede Ascendi, sendo eles trechos pertencentes às autoestradas A7, A29, A44, A4 e A16.

A partir dos dados disponibilizados pela Ascendi, foram aplicados dois métodos observacionais, um simples e outro por comparação, recorrendo adicionalmente à avaliação por séries temporais para verificar se o efeito das intervenções poderia ser explicado pelo modelo ARIMA. Os resultados obtidos para os locais foram relativamente próximos entre si e o método por comparação se apresentou como mais fiável, apesar da variabilidade. As conclusões foram obtidas por meio de dois parâmetros estatísticos, um que define a redução esperada no número de acidentes e outro que caracteriza a diminuição em termos de percentagem. Foram ainda consideradas as variâncias para quantificar as incertezas inerentes a cada método.

Palavras-Chave: Estudos observacionais; Estudos Antes-Depois; Segurança Rodoviária; Sinistralidade rodoviária; Medidas de Mitigação de Acidentes rodoviários.

ABSTRACT

By studying the roads that have high accident rates and proposing mitigation measures, road safety has a fundamental role in the prevention of road accidents. After the implementation of these measures, it is important that there is an evaluation of the effectiveness by comparing the number of post-intervention accidents (after period) against the previous figures (before period). The monitoring of this effectiveness based on the frequency of accidents can support the decision process regarding the selection of mitigation and/or preventive measures.

In this context, the work developed is an exploratory framework for the selection of methodologies that quantify the effectiveness of interventions, according to available accident data, local characteristics, complexity and intended precision. For the application of the methodologies and investigation of the results, six sites of the Ascendi's road network were selected. The sections are part of the A7, A29, A44, A4 and A16 highways.

Based Ascendi's data, two observational methods were applied: simple method and comparison method. The use of time series evaluation to verify if the effect of the interventions could be explained by the ARIMA model was also additionally used. The results found for the sites were relatively close to each other and the method by comparison presented itself as more reliable, despite the variability. The conclusions were obtained through two statistical parameters, one defining the expected reduction in the number of accidents and the other characterizing the reduction in terms of percentage. The calculation of their variances was also used to quantify the uncertainties of each method.

Keywords: Observational Studies; Before-After Studies; Road Safety; Accidents; Mitigation Measures.

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos i

Resumo iii

Abstract v

Índice Geral vii

Índice de Figuras xi

Índice de Tabelas xiii

Índice de Gráficos xv

Símbolos, Acrónimos e Abreviaturas xvii

1. Introdução 1

1.1. Preâmbulo 1

1.2. Enquadramento do Tema 3

1.3. Objetivos 4

1.4. Estrutura da Dissertação 4

2. Métodos de Avaliação dos Efeitos das Medidas de Mitigação 6

2.1. Estudos Antes-Depois Simples 8

2.2. Estudos Antes-Depois com Grupo de Comparação 8

2.3. Estudos Empíricos Bayes Antes-Depois 10

2.4. Estudos Full Bayes 13

2.5. Estudos Transversais 14

2.6. Estudos com Seção de Controlo 16

2.7. Análises Temporais (ARIMA) 17

2.8. Quadro-Resumo 19

3. Casos de Estudo 21

3.1. Contextualização 21

3.2. Caracterização 24

3.2.1. Local 1: Sublanço EN206 – Famalicão (A7), PK 19+000 ao 19+500, Sentido Crescente . 24

3.2.2. Local 2: Sublanço Granja – Miramar (A29), PK 44+900 ao 45+525, Sentido Crescente .. 27

3.2.3. Local 3: Nó de Coimbrões – Ramo E (A44), Sentido Decrescente 30

3.2.4. Local 4: Nó da Ponte da Pedra – Ramo C (A4), Sentido Decrescente..... 34

3.2.5. Local 5: Nó da Crel – Ramo B (A16), Sentido Crescente 36

3.2.6. Local 6: Nó de Lourel – Ramo B (A16), Sentido Crescente..... 39

4. Aplicação dos Métodos de Avaliação 43

4.1. Enquadramento Estatístico 43

4.2. Avaliação Antes-Depois Simples..... 45

4.3. Avaliação Antes-Depois por Comparação 46

4.3.1. Local 1: Sublanço EN206 – Famalicão (A7), PK 19+000 ao 19+500, Sentido Crescente . 48

4.3.2. Local 2: Sublanço Granja – Miramar (A29), PK 44+900 ao 45+525, Sentido Crescente .. 49

4.3.3. Local 3: Nó de Coimbrões – Ramo E (A44), Sentido Decrescente 50

4.3.4. Local 4: Nó da Ponte da Pedra – Ramo C (A4), Sentido Decrescente..... 51

4.3.5. Local 5: Nó da Crel – Ramo B (A16), Sentido Crescente 51

4.3.6. Local 6: Nó de Lourel – Ramo B (A16), Sentido Crescente..... 52

4.3.7. Síntese 53

4.4. Análise de Séries Temporais (ARIMA) 53

5. Resultados e Discussões..... 57

5.1. Estudos Antes-Depois 57

5.2. Análises Temporais 62

6. Conclusões 64

Referências Bibliográficas 68

Anexos 69

Anexo I 70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Concessões da Rede Ascendi (Fonte: Ascendi) 3

Figura 2 – Variação a curto prazo da frequência de acidentes (Fonte: AASHTO) 7

Figura 3 - Regressão à média (Fonte: AASHTO) 7

Figura 4 - Exemplo de adequação do grupo de comparação (Adaptado de AASTHO)..... 9

Figura 5 - Ilustração da relação do SPF com as frequências de acidentes (Adaptado de AASTHO) ... 11

Figura 6 - Local 1 assinalado na Concessão Norte (Fonte: Ascendi)..... 24

Figura 7 - Traçado em planta do local 1 (Fonte: SIG Ascendi) 24

Figura 8 - Proposta das medidas de mitigação para o local 1 (Fonte: Ascendi)..... 27

Figura 9 - Implementação final das medidas de mitigação para o local 1 (Fonte: Ascendi)..... 27

Figura 10 - Local 2 assinalado na Concessão Costa de Prata (Fonte: Ascendi)..... 28

Figura 11 - Traçado em planta do local 2 (Fonte: SIG Ascendi) 28

Figura 12 - Lamelas anti encandeamento (Fonte: Ascendi)..... 30

Figura 13 - Local 3 assinalado na Concessão Costa de Prata (Fonte: Ascendi)..... 31

Figura 14 - Traçado em planta do local 3 (Fonte: SIG Ascendi) 31

Figura 15 - Proposta de intervenção no local 3 (Fonte: Ascendi) 33

Figura 16 - Local 4 assinalado na Concessão Grande Porto (Fonte: Ascendi) 34

Figura 17 - Traçado em planta do local 4 (Fonte: SIG Ascendi) 34

Figura 18 - Local 5 assinalado na Concessão Grande Lisboa (Fonte: Ascendi) 36

Figura 19 - Traçado em planta do local 5 (Fonte: SIG Ascendi) 37

Figura 20 - Medidas de intervenção propostas para o local 5 (Fonte: Ascendi) 39

Figura 21 - Local 6 assinalado na Concessão Grande Lisboa (Fonte: Ascendi) 39

Figura 22 - Traçado em planta do local 6 (Fonte: SIG Ascendi) 40

Figura 23 - Intervenções propostas para o local 6 (Fonte: Ascendi) 42

Figura 24 - Definição da razão de comparação (Adaptado de Hauer) 46

Figura 25 - Passo 1 ARIMA (Fonte: SPSS) 54

Figura 26 - Passo 2 ARIMA (Fonte: SPSS) 55

Figura 27 - Passo 3 ARIMA (Fonte: SPSS) 55

Figura 28 - Passo 4 ARIMA (Fonte: SPSS) 56

Figura 29 - Passo 5 ARIMA (Fonte: SPSS) 56

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Agrupamento de medidas por objetivos 22

Tabela 2 - Locais selecionados para aplicação da metodologia 23

Tabela 3 - TMDA no local 1 25

Tabela 4 - TMDA no local 2 29

Tabela 5 - Estimativa do TMDA no local 3 32

Tabela 6 - Estimativa do TMDA no local 4 35

Tabela 7 - Estimativa do TMDA no local 5 38

Tabela 8 - Estimativa do TMDA no local 6 41

Tabela 9 - Fórmulas de estimação de λ, π e suas variâncias 45

Tabela 10 - Estimação de λ, π e as suas variâncias nos locais em estudo 45

Tabela 11 - Estimação dos parâmetros do método simples antes-depois 46

Tabela 12 - Contagem de acidentes e valores esperados 47

Tabela 13 - Estimação dos parâmetros e suas variâncias 48

Tabela 14 - Número de acidentes no período anterior à intervenção do local 1 48

Tabela 15 – Resultados da adequação para o local 1 49

Tabela 16 - Número de acidentes totais no local 1 49

Tabela 17 - Número de acidentes no período anterior à intervenção do local 2 49

Tabela 18 – Resultados da adequação no local 2 49

Tabela 19 - Número de acidentes totais no local 2 50

Tabela 20 - Número de acidentes no período anterior à intervenção do local 3 50

Tabela 21 – Resultados da adequação no local 3 50

Tabela 22 - Número de acidentes totais no local 3 50

Tabela 23 - Número de acidentes no período anterior à intervenção do local 4 51

Tabela 24 – Resultados da adequação no local 4 51

Tabela 25 - Número de acidentes totais no local 4..... 51

Tabela 26 - Número de acidentes no período anterior à intervenção do local 5 51

Tabela 27 – Resultados da adequação no local 5 51

Tabela 28 - Número de acidentes totais no local 5..... 52

Tabela 29 - Número de acidentes no período anterior à intervenção do local 6 52

Tabela 30 – Resultados da adequação no local 6 52

Tabela 31 - Número de acidentes totais no local 6..... 52

Tabela 32 - Síntese dos cálculos do método de comparação..... 53

Tabela 33 - Resultados do método simples..... 57

Tabela 34 - Resultados do método por comparação..... 58

Tabela 35 - Resultados ARIMA..... 62

Tabela 36 - Impacto das intervenções nos locais 65

Tabela 37 - Protótipo de planilha de cálculo para o método de comparação 67

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - TMDA no local 1 26

Gráfico 2 - Acidentes do local 1 nos últimos 10 anos 26

Gráfico 3 - Acidentes do local 2 nos últimos 10 anos 29

Gráfico 4 - TMDA no local 2 30

Gráfico 5 - Acidentes do local 3 nos últimos 10 anos 32

Gráfico 6 - Estimativa do TMDA no local 3 33

Gráfico 7 - Acidentes do local 4 nos últimos 10 anos 35

Gráfico 8 - Estimativa do TMDA no local 4 36

Gráfico 9 - Acidentes do local 5 nos últimos 10 anos 37

Gráfico 10 - Estimativa do TMDA no local 5 38

Gráfico 11 - Acidentes do local 6 nos últimos 10 anos 40

Gráfico 12 - Estimativa do TMDA no local 6 41

Gráfico 13 - Resultados de δ 58

Gráfico 14 - Resultados de θ 60

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

AE: Autoestrada

SR: Segurança Rodoviária

TMDA: Tráfego Médio Diário Anual

ARIMA: *Autoregressive Integrated Moving Average*

SPF: *Safety Performance Function*

IMT: Instituto da Mobilidade e dos Transportes

PK: Ponto de quilometragem

1.

INTRODUÇÃO

1.1. PREÂMBULO

A segurança rodoviária é uma questão central na sociedade e constitui um objetivo constante das políticas e regulamentos desenvolvidos e aplicados nos transportes [1]. As estatísticas dos acidentes rodoviários registados em Portugal, apresentadas em relatórios nacionais e europeus, sublinham a necessidade e a importância da investigação sobre o reforço da segurança rodoviária.

Segundo Nabais [2], o sistema de transporte rodoviário pode ser caracterizado pelo conjunto de três elementos: o utilizador, o veículo e a infraestrutura, sendo que neste sistema é considerado que os acidentes resultam da combinação desfavorável de fatores associados a cada um deles, em maior ou menor grau, e que para reduzir a sinistralidade é necessário focar na atuação os fatores de risco ligados a tais elementos.

Qualquer processo de intervenção destinado a melhorar a segurança rodoviária (SR) centra-se na abordagem de prevenção ou na de redução da sinistralidade [3]. O primeiro tipo de abordagem não se baseia na análise causal das características dos acidentes, mas sim na revisão periódica das regras de trânsito e na realização de avaliações segurança, que podem ocorrer em diferentes fases do projeto como:

· Durante as fases de planeamento e projeto usando avaliações de impacto de segurança rodoviária para apoiar avaliações de cenários alternativos;

· Na fase de conceção e construção aplicando princípios de segurança em projetos rodoviários, recorrendo geralmente a auditorias de segurança rodoviária (ASR), inspeções de segurança e campanhas de prevenção.

As medidas incluídas no segundo tipo de abordagem estão mais ligadas à fase de operação rodoviária e recorrem à avaliação do número e características dos acidentes ocorridos num determinado lugar, tendo em vista a sua mitigação.

As especificações da segurança rodoviária devem ser consideradas quer no projeto de novas vias quer na manutenção e correção das vias existentes já em operação [3]. Estes princípios devem ser aplicados às seguintes áreas:

· Geometria da via;

· Pavimento;

· Marcas rodoviárias;

· Sinalização e mobiliário urbano;

· Gestão do tráfego.

Em qualquer tipo de abordagem ao nível da infraestrutura é importante integrar os três princípios de segurança que asseguram um sistema rodoviário seguro sustentável [4]:

· Utilização das vias de acordo com a funcionalidade atribuída;

· Homogeneidade de traçado, prevenindo grandes diferenças nas velocidades, direções e massas dos veículos (que se relacionam fortemente com os respetivos níveis de vulnerabilidade em caso de acidente, como é o caso dos peões, ciclistas e, mesmo, motociclos, face aos veículos motorizados ligeiros e pesados);

· Previsibilidade, evitando a existência de situações pouco usuais que contrariem as expectativas ao longo do percurso e o comportamento dos utilizadores.

Para os tratamentos de locais com elevada sinistralidade existem algumas fases a seguir com o objetivo de se atingir a melhoria da segurança rodoviária. Primeiramente, é feita uma identificação dos locais de intervenção, seguida da recolha de dados para perceção de suas características e, por fim, o diagnóstico quanto às mais prováveis causas dos acidentes.

Realizado o diagnóstico, a próxima fase é a seleção das medidas de tratamento, levando em consideração as possibilidades de realização da intervenção para que a implementação seja viável. Por último, deverá existir a fase de monitorização destas medidas ao longo do tempo.

A análise do efeito gerado pelas medidas de redução de risco implementadas é uma questão importante a ser tratada na avaliação da segurança rodoviária. Esta avaliação é usualmente realizada através da análise e interpretação dos dados de acidentes disponíveis em determinado local para os "antes" e "depois" da "intervenção". Esta análise deve considerar as noções de significância estatística para diminuir flutuações nos resultados e determinar as alterações na frequência de acidentes com maior rigor [5].

1.2. ENQUADRAMENTO DO TEMA

A Ascendi é uma concessionária de autoestradas que atua na área de gestão de ativos, prestação de serviços de cobrança de portagens e na operação e manutenção de infraestruturas rodoviárias com 627 km de vias distribuídas por 6 concessões, a Norte (NT), Grande Lisboa (GL), Grande Porto (GP), Beiras Litoral e Alta (BLA), Costa de Prata (CP) e a subconcessão Pinhal Interior (PI) – figura 1.



Figura 1 - Concessões da Rede Ascendi (Fonte: Ascendi)

Com o intuito de diminuir a sinistralidade na sua rede, a Ascendi desenvolveu um plano de ação estratégico e operacional, o Plano de Ação de Segurança Rodoviária (2020-2023) (PASR), cuja metodologia de elaboração resultou na caracterização da evolução da sinistralidade, definição de metas para sua redução e a proposta de medidas concretas para se atingir as metas.

Uma das medidas mais emblemáticas do PASR é a "A2: Estudos e medidas de mitigação dos riscos de acidentes rodoviários" que enquadra todos os estudos preliminares, projetos e implementações de medidas concretas que visam a redução dos números de acidentes na rede. O volume anual destes estudos é de cerca de 10/ano, sendo que a empresa já viu aprovados e implementados vários desde o início do PASR.

Como citado anteriormente, após a implementação das medidas no terreno, o acompanhamento do tratamento após sua implementação também possui grande importância na gestão da segurança rodoviária. Tendo um volume razoável de implementações e expetativa de continuação das mesmas, torna-se importante para Ascendi definir uma metodologia de monitorização que permita avaliar a eficácia real das medidas, levando em consideração outros fatores além do número de acidentes pós intervenção.

1.3. OBJETIVOS

Face ao enquadramento anterior, o objetivo deste trabalho foi direcionado para a exploração do tema das metodologias de monitorização de resultados das medidas de redução do risco de acidentes rodoviários, tendo como base as várias medidas já implementadas pela Ascendi em diversos locais da rede.

É importante que sejam explorados métodos de se realizar essa avaliação do efeito das medidas, para auxiliar na orientação estratégica dos próximos planos de atuação no âmbito da segurança rodoviária. Para isso, foi realizado um estudo bibliográfico acerca das metodologias existentes, seguido pela seleção e aplicação dos métodos adequados aos casos em estudo de modo a permitir conclusões fundamentadas nos resultados obtidos.

Com o conhecimento do procedimento inicial de avaliação de eficácia das medidas, espera-se que seja possível a criação de uma base de dados para controlo e futuras análises que permitam dar suporte à escolha dos tratamentos a serem selecionados e implementados, em conformidade com as características locais, com o histórico de intervenções já realizadas e considerando potenciais variáveis que podem enviesar que afetam os resultados.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho encontra-se estruturado por 6 capítulos, sendo eles:

· Capítulo 1: Contextualização do tema e do âmbito em estudo, com uma breve introdução, definição dos objetivos e estruturação do trabalho.

· Capítulo 2: Apresentação do estado da arte atual, por meio da identificação dos tipos de metodologias de avaliação existentes e suas especificidades.

· Capítulo 3: Caracterização e descrição dos casos de estudo escolhidos para análise, com prévio enquadramento para fundamentação do processo de escolha.

· Capítulo 4: Execução prática das metodologias aplicáveis a cada um dos locais em análise e a definição das etapas inerentes aos diferentes processos.

· Capítulo 5: Exposição e discussão dos resultados obtidos após a utilização das metodologias.

· Capítulo 6: Conclusões finais, recomendações propostas e perspetivas futuras relativamente ao trabalho realizado.

2.

MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DAS MEDIDAS DE MITIGAÇÃO

Tão importante quanto a implementação de medidas de redução de acidentes, é a monitorização dos seus efeitos para averiguar a efetividade das medidas e verificar a necessidade de nova intervenção. Para ações já executadas, podem-se utilizar metodologias que avaliam a eficácia com base em cálculos estatísticos para investigar se o número de acidentes reduziu, manteve-se ou aumentou em consequência da medida, tendo em consideração aspetos que podem interferir nos resultados.

Tais metodologias são ferramentas utilizadas como um guião que especifica o caminho a ser adotado para se chegar aos resultados pretendidos e serve para permitir o entendimento dos procedimentos utilizados na pesquisa. No âmbito da segurança rodoviária, existem diversas abordagens para estudar a eficiência que uma medida teve em um dado local, com base nas informações disponíveis e características existentes [6].

Ao contrário de uma experiência laboratorial em que as variáveis são controladas de modo a responder a uma questão específica, o método típico para avaliar as melhorias de segurança de um tratamento segue a abordagem observacional, onde não se pode controlar os fatores exógenos que afetam os resultados e o isolamento dos efeitos da intervenção para posterior análise é complexo [7].

De acordo com *Highway Safety Manual* [8], as limitações devido a natureza aleatória dos acidentes devem ser contabilizadas sempre que possível para não causar enviesamento nos resultados que prejudiquem a fiabilidade dos dados. Essa aleatoriedade faz com que ocorram flutuações na frequência de acidentes no decorrer do tempo, o que indica que realizar uma análise a curto prazo pode induzir erro no que se refere à estimação da frequência de acidentes a longo prazo. Como se pode concluir com base na Figura 2, é necessário que os dados englobem o maior período possível para evitar falsas conclusões.

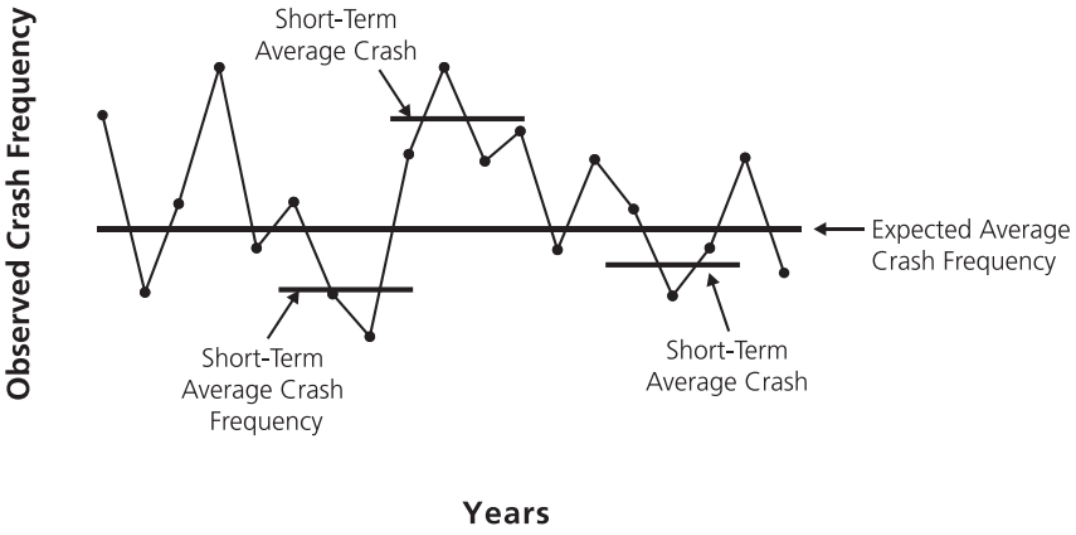


Figura 2 – Variação a curto prazo da frequência de acidentes (Fonte: AASHTO)

Quando um período com uma frequência de acidentes comparativamente alta é observado, é estatisticamente provável que o período seguinte seja seguido por uma frequência de acidentes comparativamente baixa. Essa tendência é conhecida como regressão à média e também deve ser considerada quando se trata da avaliação da frequência de acidentes, utilizando dados de longo prazo para que seja possível identificar se, por exemplo, uma redução observada nas colisões foi consequência das medidas implementadas ou se teria ocorrido mesmo sem a intervenção [8].

A figura abaixo mostra graficamente a tendência de regressão à média e como isso pode influenciar na perceção da eficácia das intervenções, podendo haver indução ao erro caso este fenômeno não seja corretamente contabilizado.

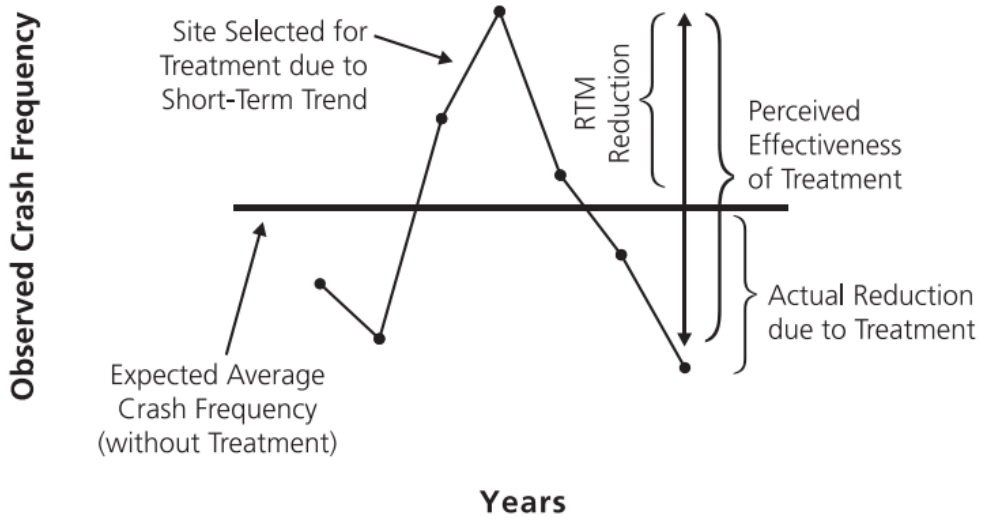


Figura 3 - Regressão à média (Fonte: AASHTO)

Uma vez que os acidentes rodoviários apresentam aleatoriedade em suas ocorrências, essas contabilizações e de outros fatores externos são feitas de acordo com a metodologia a ser aplicada, devendo-se por isso distinguir os diferentes métodos, seus requisitos, vantagens e desvantagens, para obtenção de resultados mais precisos e fiáveis face às diferenças entre cada caso de estudo.

Os subcapítulos seguintes discorrem sobre os principais métodos de avaliação de efetividade no âmbito da segurança rodoviária, sendo eles: o estudo antes-depois simples, com grupo de comparação, empírico Bayes, Full Bayes, estudos transversais, de seção de controlo e análises temporais.

2.1. Estudos Antes-Depois Simples

Nos estudos "antes" e "depois", a quantificação do efeito das medidas consiste na comparação entre a previsão de como seria a sinistralidade no local em estudo sem as medidas implementadas, com a sinistralidade existente no local após a intervenção.

Estes estudos no âmbito da segurança rodoviária são do tipo observacionais pela impossibilidade de realizá-los em laboratórios por meio de experiências. Neste contexto, as deduções são feitas estatisticamente baseadas em dados coletados de um determinado local, e cujo processo de previsão citado corresponde à questão central a ser solucionada, já que prever as consequências de uma situação que não ocorreu e de natureza aleatória é algo complexo, e varia de acordo com os diferentes estudos.

No caso do método simples, também chamado de *Naive*, é apresentada a técnica mais básica para esse tipo de estudo observacional. Nesta abordagem, é feita uma comparação direta da contagem de acidentes nos períodos "antes" e "depois" da implementação das medidas, e a mudança resultante no número de acidentes é considerada o efeito do tratamento.

Ou seja, este estudo é incapaz de separar o efeito do tratamento dos outros efeitos exógenos, portanto não é recomendado para avaliação da segurança rodoviária devido a sua imprecisão [9].

2.2. Estudos Antes-Depois com Grupo de Comparação

Um estudo antes-depois com grupo de comparação baseia-se na comparação de grupos de locais não tratados e que são similares ao local tratado para contabilizar as mudanças nos acidentes que não estão relacionadas com as medidas em si, como mudanças no tráfego.

O grupo de comparação é usado para calcular a razão entre a frequência de acidentes observada no período posterior e a do período anterior à implementação da medida. A frequência de acidentes observada no período anterior no grupo de locais de tratamento é multiplicada por essa razão de comparação para fornecer uma estimativa de acidentes esperados no grupo de tratamento caso nenhum tratamento tenha sido aplicado, e então comparado com os acidentes observados no período posterior no grupo do local de tratamento para estimar os efeitos de segurança do tratamento [6].

Fatores externos, não relacionados com as medidas, são levados em conta por meio do uso de locais de controlo para comparação com o local analisado. Requisitos para um grupo de comparação adequado [9], incluem: existência de motivos para acreditar que a mudança em fatores além do tratamento sob estudo (ex: mudanças no volume de tráfego), que influenciam a segurança, sejam os mesmos nos grupos de tratamento e comparação; as contagens de acidentes (amostra) devem ser suficientemente grandes e as características geométricas entre ambos precisam ser similares.

O método de comparação possui grande fiabilidade estatística na teoria, porém na prática surge a complexidade de se encontrar um local que se adeque totalmente a outro nos requisitos mencionados. Adquire-se então um aspeto subjetivo ao método pois poderá variar de acordo a interpretação individual de quem estiver a realizar o estudo [5].

Ao planear um grupo de comparação antes-depois da avaliação de segurança, é vital assegurar que sejam incluídos acidentes suficientes de modo que a mudança esperada na segurança possa ser estatisticamente detetada. Os fatores que influenciam na determinação se uma amostra é suficientemente grande ou não são: tamanho do grupo de tratamento (número de acidentes no período "antes"), a duração relativa dos períodos "antes" e "depois", e o tamanho do grupo de comparação (número de acidentes nos períodos "antes" e "depois").

A figura abaixo ilustra a ideia de semelhança e aptidão de um grupo de comparação. Neste exemplo, as colisões no grupo de estudo estão sujeitas a alguns tratamentos após o ano 2000 e acidentes no grupo de comparação são comparados por adequação. Parece que evidente pela inspeção visual da figura que os acidentes nos dois grupos se sucedem bem um ao outro no período anterior ao tratamento. É claro que isto é apenas uma avaliação qualitativa.

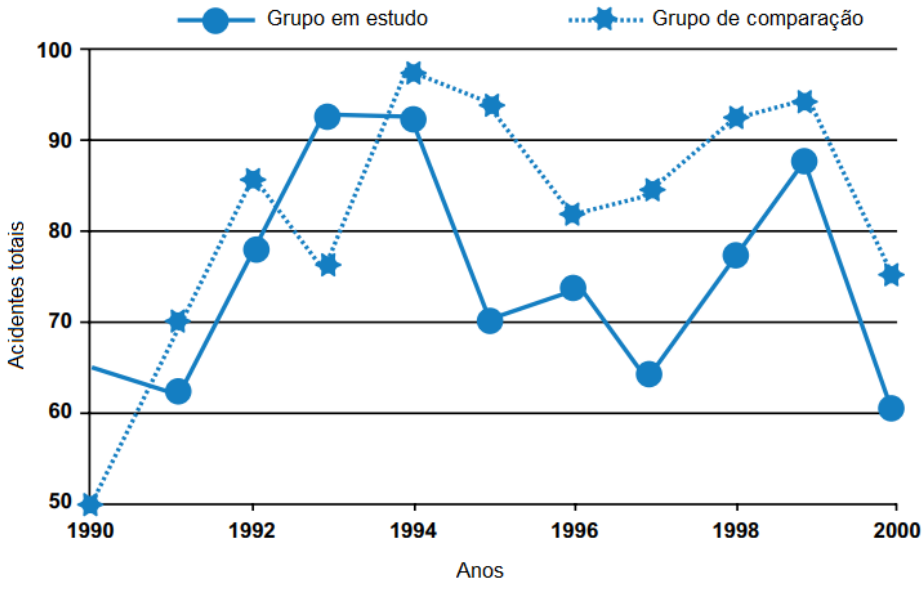


Figura 4 - Exemplo de adequação do grupo de comparação (Adaptado de AASTHO)

2.3. ESTUDOS EMPÍRICOS BAYES ANTES-DEPOIS

O objetivo dessa metodologia é estimar de forma mais precisa o número de acidentes esperados para o local tratado no período 'depois', que teria ocorrido sem tratamento implementado.

A principal vantagem desse estudo é que explica corretamente as mudanças observadas nas frequências de acidentes antes e depois de um tratamento que pode ser devido à regressão à média [6]. Portanto, é um método mais completo do que o de comparação justamente por considerar o volume de tráfego e tendências temporais.

Para considerar a regressão à média, o número de acidentes esperados antes do tratamento será uma média ponderada da informação de duas fontes: o número de acidentes observados no período "antes" nos locais tratado e o número e acidentes previstos nos locais tratados, baseado em locais de referência com tráfego similar e características físicas também.

Para estimar os pesos e o número esperado de acidentes, é preciso utilizar um grupo de locais de referência semelhante ao do lugar a ser tratado, assim como é feito no método de comparação de grupos.

No entanto, o ponto de partida é que os dados do grupo de referência não tratado são usados para primeiro estimar uma função de desempenho de segurança (tradução da designação em inglês *safety performance function* – SPF) que relaciona os acidentes dos locais com seu tráfego e características geométricas.

Um SPF é um modelo matemático que prevê a frequência média de acidentes para locais semelhantes com as mesmas características, assumindo para tal a distribuição binomial negativa tradicionalmente considerada na modelação dos acidentes. Este SPF é então usado para derivar a segunda fonte de informação para a estimativa empírica de Bayes – o número de acidentes previstos em locais tratados com base em locais com características operacionais e geométricas semelhantes.

A estimativa empírica Bayes do número esperado de acidentes sem tratamento é calculado a partir da seguinte equação:

$$N_{esperado,antes} = peso\ SPF * \left(N_{previsto,antes}\right) + (1 - peso\ SPF) * (N_{observado,antes}) \quad (1)$$

Em que:

· $N_{esperado,antes}$: Número de acidentes esperados no período "antes" sem o tratamento;

· $N_{observado,antes}$: Número de acidentes observados no período "antes" nos locais em estudo;

· $N_{previsto,antes}$: Número de acidentes estimados nos locais em estudo com base em locais de referência com tráfego semelhante e características físicas pelo modelo SPF.

O peso do SPF é derivado utilizando o parâmetro de sobredispersão do processo de calibração do SPF, mas também depende do número de anos de dados de acidentes no período "antes" do tratamento.

Existe uma relação inversa entre o peso do SPF e o parâmetro de sobredispersão. Um modelo matemático SPF que explique melhor a variabilidade entre locais em termos de contagens de acidentes, e que tenha um menor parâmetro de sobredispersão, terá um peso SPF mais elevado. No entanto, o peso é reduzido se forem utilizados muitos anos de dados de acidente.

A figura abaixo ilustra como a estimativa do SPF é ponderada com a contagem de acidentes observada para estimar a frequência de acidentes. Nota-se que a estimativa empírica Bayes se localiza entre os valores das duas fontes de informação ($N_{observado,antes}$ e $N_{previsto,antes}$), e o efeito de regressão à média é a diferença entre $N_{observado,antes}$ e $N_{esperado,antes}$.

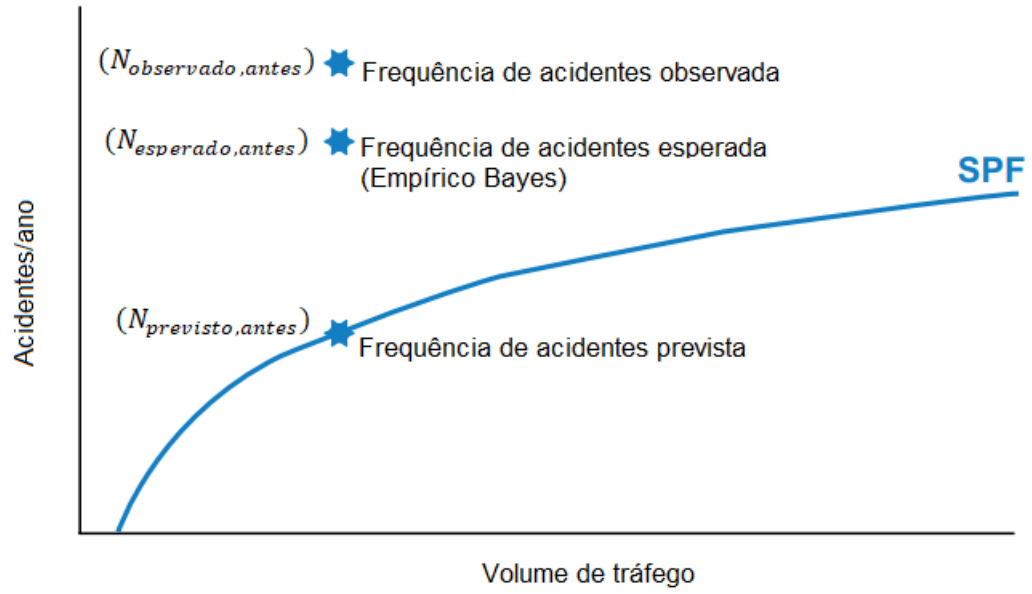


Figura 5 - Ilustração da relação do SPF com as frequências de acidentes (Adaptado de AASTHO)

O SPF não é usado apenas para contabilizar o fenómeno de regressão à média, mas também para explicar melhor as tendências de tempo e as mudanças de volume de tráfego, o que não é tido em conta no método de grupo de comparação. Ou seja, este método permite uma estimativa da mudança na segurança que ocorreria como resultado de uma mudança no volume de tráfego, e também podem ser calibrados para cada ano e esses fatores de calibração (multiplicadores) refletem as tendências temporais na relação entre a frequência de acidentes e o volume de tráfego.

O mesmo grupo de referência usado para desenvolver o SPF é aplicado para derivar esses multiplicadores de tendência temporal. Para um determinado ano, o multiplicador é calculado como a soma das colisões observadas dividida pela soma das colisões previstas naquele ano.

O valor ajustado da estimativa empírica de Bayes, é o número esperado de acidentes no período 'depois' sem tratamento ($N_{esperado,depois}$), pela seguinte equação:

$$N_{esperado,depois} = N_{esperado,antes} * \left(\frac{N_{previsto,depois}}{N_{previsto,antes}}\right) \quad (2)$$

Em que:

· $N_{esperado,antes}$: Calculado pela equação 1, estimativa do número de acidentes no período "antes";

· $N_{previsto,depois}$: Número previsto de acidentes no período "depois" estimado pelo SPF;

· $N_{previsto,antes}$: Número previsto de acidentes no período "antes" estimado pelo SPF;

Nota-se que o princípio deste método é semelhante ao do método por comparação, em que o efeito da intervenção é quantificado pela diferença entre o número de acidentes esperados no grupo de tratamento no período "depois" caso nenhum tratamento tenha sido aplicado ($N_{esperado,depois}$) com o número de acidentes observados no período "depois" do local de tratamento.

A diferença entre ambos reside no cálculo de $N_{esperado,depois}$, já que no método por comparação são utilizados apenas valores observados e no método empírico são utilizados valores previstos pelo modelo, o que garante maior precisão ao resultado.

Ao considerar uma análise empírica Bayes antes e depois, é vital garantir que sejam incluídos dados suficientes para que a mudança esperada na segurança possa ser detetada estatisticamente. Atualmente, não existe um método formal para determinar os tamanhos de amostra necessários para esta abordagem, mas o método apresentado em Hauer [9] pertence ao método de grupo de comparação e pode ser usado para aproximar o tamanho da amostra necessária para um estudo empírico de Bayes. As estimativas de tamanho da amostra podem ser consideradas conservadoras, pois a abordagem empírica de Bayes reduz a incerteza na estimativa de acidentes esperados.

Existem também algumas adversidades inerentes ao método que devem ser consideradas, como a possibilidade de a mudança observada no número de acidentes ser devida a outros fatores além da medida mitigadora, e se esses fatores não forem devidamente contabilizados, existe o potencial de enviesar os resultados.

Tais fatores incluem as mudanças no volume de tráfego devido a tendências gerais ou à própria medida implementada, mudanças nos registos dos acidentes, meteorologia, comportamento do condutor, efeitos dos programas de segurança, etc.

2.4. ESTUDOS FULL BAYES

Full Bayes é uma abordagem de modelação que pode ser utilizada da mesma forma que a abordagem de modelação linear generalizada mais comum, tipicamente empregada no método empírico Bayes para estudos antes e depois.

Na abordagem empírica de Bayes para estudos antes e depois, é utilizado um grupo de referência para estimar a frequência de acidentes esperada e a sua variação de um SPF calibrado pelo multiplicador. Estas estimativas são então combinadas com a frequência de acidentes observada no local do tratamento para obter uma aproximação melhorada da frequência esperada a longo prazo de um local na ausência de tratamento.

Já na abordagem Full Bayes para estudos antes e depois, é também utilizada um grupo de referência. No entanto, em vez de se utilizar uma estimativa pontual da frequência esperada da diminuição de acidentes e da sua variação, é gerada uma distribuição dos valores prováveis. Esta distribuição é então combinada com a frequência de acidentes observada para estimação da mesma a longo prazo [9], gerando maior precisão nos cálculos.

Uma das maiores vantagens deste método é a possibilidade de contabilização da correlação espacial, que considera o efeito da proximidade de um local a outros locais sobre a frequência esperada de acidentes. Embora os modelos Bayes revelem a existência de correlação espacial nos dados dos acidentes, também fornecem um mecanismo para quantificar e reduzir o efeito desta correlação.

Para estudos "antes" e "depois", a correlação espacial será provavelmente uma questão em que tanto os locais tratados como os locais de comparação estão próximos. Se a exposição ao longo do tempo não for conhecida, então a comparação ou grupo de referência selecionado deverá de fato estar o mais próximo possível dos locais tratados, uma vez que é mais provável que a exposição seja semelhante do que se os locais estiverem mais afastados.

Embora não exista um método formal para determinar o tamanho das amostras necessárias para a abordagem Full Bayes, existem métodos para o "antes" e "depois" com método de grupo de comparação, como já abordado anteriormente.

Estes métodos podem ser aplicados e podem ser considerados conservadores na medida em que a abordagem Full Bayes reduz a incerteza nas estimativas da frequência esperada [6].

A questão principal com o método Full Bayes é a complexidade da sua aplicação, pois pode exigir um nível muito elevado de formação estatística, logo é preferível o uso do método empírico ou grupo de comparação desde que haja robustez de dados.

2.5. ESTUDOS TRANSVERSAIS

Estudos transversais analisam a ocorrência de acidentes em locais com e sem certa característica (por exemplo, iluminação) e depois atribuem a diferença em termos de segurança a essa característica. Além de serem particularmente úteis para estimar número esperado de acidentes após a implementação de medidas quando não há casos suficientes em que o tratamento foi aplicado para realizar um estudo antes e depois que permita resultados credíveis.

Na sua aplicação mais básica, o número de acidentes esperados é estimado como o rácio da média da frequência de acidentes para locais com e sem a característica, mas para que o resultado seja fiável é importante que os locais sejam semelhantes em todos os fatores que afetam o risco de acidente, o que na prática é um requisito difícil de cumprir [7].

Como consequência da dificuldade mencionada, as análises transversais são frequentemente realizadas através de múltiplos modelos de regressão variável. Nestes modelos, são feitas tentativas de conseguir abranger todas as variáveis que afetam a segurança. Se tais tentativas forem bem-sucedidas, os modelos podem ser utilizados e o resultado será obtido pelos dos parâmetros do modelo [6].

Para exemplificar a utilização de modelos de regressão multivariada, considera-se o modelo para colisões em estradas rurais de duas faixas desenvolvido por Vogt e Bared [10]. Este modelo foi desenvolvido utilizando dados recolhidos de dois Estados (Minnesota e Washington), incluindo a geometria das estradas, volumes de tráfego e dados sobre acidentes. Os dados relativos a partes da estrada nas proximidades de interseções não foram utilizados no desenvolvimento do modelo. O modelo foi desenvolvido a fim de avaliar os impactos das mudanças nas várias características da estrada sobre os acidentes previstos. A equação do modelo é apresentada na equação 3:

$$Y = T * \exp(0.649 + 0.139\mathrm{S} - 0.0845\mathrm{L} - 0.059\mathrm{SW} + 0.067\mathrm{R} + 0.008\mathrm{DD}) * \sum(\mathrm{WH}_i * \exp(0{,}045 * D_i)) * \sum(WG_k * \exp(0{,}105 * G_k)) \quad (3)$$

Em que:

· Y: Número previsto de acidentes por ano;

· T: Exposição ao tráfego em milhões de veículos-milhas;

· L: Largura da faixa de rodagem em pés.

· SW: Média da largura das bermas esquerda e direita em pés;

· R: Classificação média de perigo à beira da estrada ao longo do segmento;

· DD: Densidade em vias de acesso por milha;

· S: 0 para Minnesota, 1 para Washington.

· Di: Grau de curva em graus por cem pés da curva horizontal que se sobrepõe ao segmento;

· WHi: Fração do comprimento total do segmento ocupado pela curva horizontal i-i;

· Gk: Gau absoluto em percentagem da seção de grau uniforme que se sobrepõe ao segmento;

· WGk: Fração do comprimento total do segmento ocupado pela seção de grau uniforme.

A partir dos parâmetros estimados pode-se determinar o fator de mudança de sinistralidade (*crash modification factor*) que corresponde ao impacto em média nos acidentes quando o valor de uma variável é aumentado em uma unidade. Por exemplo, o efeito do aumento da largura da pista (L) em um pé é igual a:

$Y = \exp(-0{,}0845*L) = \exp(-0{,}0845*(1)) = 0.92$

Ou seja, espera-se uma diminuição de 8% no número de acidentes para cada aumento de um pé na largura da pista.

A determinação do tamanho das amostras necessárias para estudos transversais depende de diversos fatores como as frequências médias de acidentes, o número de variáveis desejadas no modelo, o nível de significância estatística desejado no modelo e a divergência em cada variável de interesse entre os locais. Só será possível determinar a adequação do tamanho da amostra conforme o resultado do modelo, já que se houver a indicação de não significância estatística das variáveis de interesse serão necessários mais dados, o que torna iterativo este procedimento [6].

A principal dificuldade na análise transversal é que a comparação a ser realizada é entre dois locais distintos, e consequentemente a diferença observada no número de acidentes pode ser devida a fatores conhecidos ou desconhecidos, para além da característica de interesse que os relaciona. Fatores conhecidos, tais como o volume de tráfego ou características geométricas, podem ser controlados em princípio através da estimativa de um modelo de regressão variável múltipla. No entanto, ainda existe a questão dos fatores desconhecidos (ou conhecidos, mas não mensurados), por isso se deve ter cautela ao fazer inferências sobre a frequência de acidentes derivada de estudos transversais [6].

No entanto, é difícil ter em conta todos os fatores que afetam a segurança rodoviária, utilizando as técnicas de modelação, precisamente porque uma variável é encontrada correlacionada com outra variável que pode ser omitida durante o exercício de montagem do modelo, e a inclusão de variáveis correlacionadas poderia de fato levar a efeitos contraintuitivos. Assim, os estudos transversais são selecionados em casos com aplicações suficientes de uma medida específica, em que se possa distinguir o máximo possível os efeitos das variáveis [11].

2.6. ESTUDOS COM SEÇÃO DE CONTROLO

Estudos com seção de controlo têm sido usados em certas áreas da segurança rodoviária, mas poucos se concentram nos efeitos de elementos de características geométricas. Baseiam-se em dados transversais, mas não devem ser confundidos com estudos transversais em geral.

Para estudos transversais, as amostras são geralmente selecionadas com base na presença e ausência de uma característica específica ou com base numa estrada específica ou tipo de cruzamento, ignorando se houve ou não um acidente.

Já os estudos de caso-controlo selecionam locais com base nos resultados (por exemplo, acidente ou nenhum acidente) e depois determinam o estado das medidas de segurança dentro de cada grupo de resultados.

Estudos de controlo de casos avaliam se a exposição a uma potencial medida é distribuída de forma desproporcional entre os casos de estudo e os de controlo, indicando assim a probabilidade de um benefício real do tratamento. Os estudos de secção-controlo não podem ser utilizados para medir a probabilidade de um acidente em termos de frequência esperada, pois são mais frequentemente utilizados para mostrar os efeitos relativos dos tratamentos. Análises estatísticas, tais como técnicas de regressão logística múltipla, são geralmente utilizadas para clarificar estas relações, porque são capazes de examinar o risco/benefício associado a um fator enquanto controlam outros fatores [11].

A relação entre controlos e casos pode variar e depende frequentemente da disponibilidade de tempo, orçamento, e potenciais locais. O aumento do número de controlos aumentará o poder do estudo, especialmente quando há relativamente poucos casos [11].

O método de secção-controlo pode ser muito útil para estudar eventos raros, porque o número de casos e controlos é pré-determinado. Outra vantagem [6] é que vários tratamentos podem ser investigados em relação a um único resultado, utilizando a mesma amostra, e uma única amostra pode ser utilizada para investigar quaisquer variáveis que não estejam incluídas nos critérios de seleção ou de correspondência para casos e controlos.

Embora os estudos de secção-controlo possam ser utilizados para explorar múltiplos tratamentos, só podem investigar um resultado por amostra, onde a amostragem é conduzida separadamente dentro do caso e as populações de controlo com base no estado dos resultados e diferentes resultados produzirão amostras diferentes.

O maior obstáculo de um estudo de controlo de casos [6] é definir os casos e os controlos. Definições ambíguas ou amplas para casos e controlos podem levar a uma classificação errada e provavelmente produzir resultados pouco claros. Deve ter-se o cuidado de assegurar que os casos e controlos são representativos dos locais de interesse, ou seja, a hipótese de ser incluído no estudo não deve ser associada ao tratamento de interesse.

Além disso, o método não pode demonstrar a causalidade porque não existe uma sequência temporal de acidentes na análise. Em vez disso, "odds ratio" [9] indica a probabilidade aumentada/diminuída de um acidente quando uma medida (tratamento) está presente, conforme equação 4. Contudo, não reconhece diferenças entre locais com muitos acidentes ou um só acidente. Isto é uma perda de informação potencialmente importante e, portanto, o verdadeiro aumento do risco pode ser subestimado.

$$Odds\ ratio = \frac{A/B}{C/D} = \frac{AD}{BC} \tag{4}$$

Sendo A o número de casos com tratamento, B o número de controlos com tratamento, C o número de casos sem tratamento e D o número de controlos sem tratamento. O valor da razão maior que 1 sugere que as medidas implementadas aumentariam o risco de acidentes, e menor que 1 diminuiriam o risco de acidentes.

2.7. ANÁLISES TEMPORAIS (ARIMA)

Um modelo ARIMA é uma classe de modelos estatísticos para analisar e prever dados de séries temporais. O modelo atende explicitamente a um conjunto de estruturas padrão em dados de séries temporais e, como tal, fornece um método simples, mas significativo, para fazer previsões de séries temporais [12].

ARIMA é um acrônimo que significa *AutoRegressive Integrated Moving Average* em inglês. É uma generalização da média móvel autoregressiva mais simples e acrescenta a noção de integração. Esse acrônimo é descritivo, capturando os principais aspetos do próprio modelo. Resumidamente, são eles:

· AR: Autoregressão. Um modelo que usa a relação dependente entre uma observação e algum número de observações defasadas.

· I: Integrado. O uso de diferenciação de observações brutas (por exemplo, subtraindo uma observação de uma observação na etapa de tempo anterior) para tornar a série temporal estacionária.

· MA: Média Móvel. Um modelo que usa a dependência entre uma observação e um erro residual de um modelo de média móvel aplicado a observações defasadas.

Cada um desses componentes é explicitamente especificado no modelo como um parâmetro. Uma notação padrão é usada de ARIMA(p,d,q) onde os parâmetros são substituídos por valores inteiros para indicar rapidamente o modelo ARIMA específico que está sendo usado [13].

Os parâmetros do modelo ARIMA são definidos da seguinte forma:

· p: O número de observações de atraso incluídas no modelo, também chamado de ordem de atraso (*lag*).

· d: O número de vezes que as observações brutas são diferenciadas, também chamado de grau de diferenciação.

· q: O tamanho do intervalo da média móvel, também chamada de ordem da média móvel.

Um modelo de regressão linear é construído incluindo o número e tipo de termos especificados, e os dados são preparados por um grau de diferenciação para torná-lo estacionário, ou seja, para remover tendências e estruturas sazonais que afetam negativamente o modelo de regressão [12].

Um valor de 0 pode ser usado para um parâmetro, o que indica não usar esse elemento do modelo. Desta forma, o modelo ARIMA pode ser configurado para desempenhar a função de um modelo ARMA, e até mesmo um simples modelo AR, I ou MA [13].

A abordagem clássica para ajustar um modelo ARIMA é seguir a Metodologia Box-Jenkins, que é um processo que usa análise e diagnóstico de séries temporais para descobrir bons parâmetros para o modelo ARIMA. Em resumo, as etapas desse processo são as seguintes:

· Identificação do modelo. Uso de gráficos e estatísticas resumidas para identificar tendências, sazonalidade e elementos de autoregressão para ter uma ideia da quantidade de diferenciação e do tamanho do atraso que será necessário.

· Estimativa de Parâmetros. Uso um procedimento de ajuste para encontrar os coeficientes do modelo de regressão.

· Verificação de modelo. Uma vez ajustado um modelo adequado, é realizada a verificação diagnóstica do modelo, que diz respeito à avaliação da qualidade do modelo. Uso de gráficos e testes estatísticos dos erros residuais são usados para determinar a quantidade e o tipo de estrutura temporal não capturada pelo modelo.

Se não houver inadequações encontradas, o ajuste do modelo é considerado completo e o modelo pode ser usado para prever valores futuros. Caso contrário, busca-se outra metodologia [13].

No âmbito da segurança rodoviária, o ARIMA tem sido usado amplamente para modelação e previsão de acidentes e assim e assim suportar a tomada de decisão na implementação de ações apropriadas, por meio da verificação da tendência de aumento ou diminuição no número de acidentes rodoviários [12].

2.8. QUADRO-RESUMO

Estudo	Requerimentos/ Aplicabilidade	Vantagens	Desvantagens
Antes-Depois Simples	- Disponibilidade dos dados de acidentes nos períodos "antes" e "depois"	- Aplicação simples - Poucos requisitos em termos de dados	- Não considera a regressão à média - Não contabiliza os efeitos das tendências ao longo do tempo
Antes-Depois Grupo de Comparação	- Disponibilidade dos dados de acidentes nos períodos "antes" e "depois" para os locais em estudo e para os locais de comparação - Necessidade de um grupo de comparação que esteja em conformidade com o grupo de tratamento em relação ao período "antes"	- Aplicação simples - Considera as tendências de tempo não relacionadas às medidas e às mudanças no volume de tráfego	- Não considera a regressão à média - Verificação da conformidade entre os locais é exigido no período "antes"
Antes-Depois Empírico Bayes	- Disponibilidade dos dados de acidentes nos períodos "antes" e "depois" - Necessidade do desenvolvimento de modelos matemáticos SPF para os locais analisados	- Tem uma base teórica concreta Utiliza SPFs para contabilizar: - Regressão à média - O volume de tráfego muda ao longo do tempo - Tendências temporais não relacionadas ao tratamento	- Relativamente complexo - Não é possível incluir conhecimento prévio do tratamento - Não é possível considerar a correlação espacial - Não é possível especificar formulações de modelo complexos

Full Bayes	Útil para estudos antes depois quando: - São necessárias formulações de modelos complexos - Há uma necessidade de considerar a correlação espacial entre os locais. - Estimativas de modelos anteriores devem ser introduzidas na modelagem.	- Resultados confiáveis com tamanhos de amostra pequenos - Pode incluir conhecimento prévio, correlação espacial e formulação de modelos complexos no processo de avaliação	- A implementação requer um alto grau de conhecimento estatístico
Transversal	- Utilizado quando os dados disponíveis de "antes" e "depois" são limitados - Requer locais suficientes que sejam semelhantes, exceto para o local de tratamento de interesse.	- Úteis para estimar número esperado de acidentes após a implementação de medidas quando não há casos suficientes em que o tratamento foi aplicado - Útil para prever travamentos	Resultados ser imprecisos por vários motivos, incluindo: - Forma funcional inadequada - Enviesamentos por variáveis omitidas - Correlação entre variáveis
Caso-controlo	- Avalia se a exposição a uma potencial medida é distribuída desproporcionalmente entre locais com e sem os acidentes em análise - Indica a chance de efetividade de um tratamento através da razão de probabilidades	- Útil para estudar eventos raros (intervenções) - Pode investigar várias medidas por amostra	- Só pode investigar um resultado por amostra - Não diferencia entre locais com um acidente ou vários - Não consegue expressar causalidade

3.

CASOS DE ESTUDO

3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Em 2017 a Ascendi já produzia relatórios internos de análise dos locais com mais incidência de acidentes para compreender os motivos e propor soluções que poderiam diminuir ou mitigar os acidentes, com base nos dados e estatísticas.

A partir de 2020 tais análises passaram a ser realizadas por entidades externas contratadas para pormenorizar todos os detalhes dos locais relevantes, como: a análise da sinistralidade, caracterização operacional, identificação das causas dos acidentes e propostas de medidas de mitigação com as respetivas estimativas orçamentais.

Ao todo, foram identificados 58 relatórios sobre a sinistralidade rodoviária na Ascendi desde 2017. Para efeitos deste estudo foram descartados os relatórios cujos objetivos visavam a redução da gravidade dos acidentes e não a redução do número de acidentes em si, bem como os relatórios decorrentes de vistorias internas ou solicitadas pelo IMT (Instituto da Mobilidade e dos Transportes), que se destinam manutenção de cada componente das medidas já implementadas. São exemplos dessas ações: suprir a falta de algum componente (como guardas de segurança), verificar a necessidade de adaptação a normas mais atuais, entre outros, mas que não possuem relação direta com o número de acidentes ocorridos.

Devido a quantidade ainda abundante de locais relevantes para estudo, ainda foi necessário aplicar critérios para uma escolha mais sistemática, como:

- Tamanho da amostra: Sendo o tamanho da amostra um fator relevante para a fiabilidade dos resultados, como citado no capítulo anterior, foram considerados apenas os estudos que tiveram medidas implementadas em 2017 e 2018 para que os períodos de tempo “antes” e “depois” tivessem a máxima amplitude possível. Ou seja, as medidas implementadas em 2021 não têm informações suficientes para se separar a eficácia intrínseca das mesmas de outros fatores externos, como a regressão à média.

- Variedade nas medidas de segurança: Cada local possui sua particularidade, logo tiveram as medidas adaptadas e combinadas para satisfazer as necessidades de segurança almejadas. Para melhor visualização das intervenções praticadas foi feita uma separação e posterior agrupamento das medidas por objetivos principais, de modo a selecionar locais que apresentassem maior variedade e assim possibilitar uma análise mais abrangente. É discutível a possibilidade de se conseguir separar rigorosamente e sem ambiguidade de interpretação o que cada intervenção visa – já que pode possuir mais de uma finalidade –, sendo então uma caracterização subjetiva. Portanto, após ponderação dos objetivos principais se chegou ao resultado apresentado na tabela a seguir.

Tabela 1 - Agrupamento de medidas por objetivos

Objetivos	Medidas
Aumentar o atrito do pavimento	- Granalhagem - Revestimento antiderrapante
Melhorar o impacto visual da sinalização vertical	- Utilização de LEDs incorporados na sinalização vertical - Colocação de chevrons com LEDs em curvas com muitos acidentes
Evitar encandeamento	- Lamelas anti-encandeamento
Estimular a atenção do condutor para adequação de seu comportamento	- Colocação de painéis de atenção com LEDs (zona de acidentes) - Colocação de chevrons em curvas com muitos acidentes que não estavam sinalizadas previamente - Utilização de sinalização vertical com sensor de velocidades para indicação instantânea
Evitar transposições proibidas	- Alterações nas linhas (contínuas e descontínuas trocas ou prolongamentos)
Delimitar e marcar claramente as vias de circulação	- Balizadores - Marcas rodoviárias e reforço (destinos e C13) - Marcadores em vidro omnidirecionais e unidirecionais - Marcadores SR45 (fixos e intermitentes) - Guarda seguranças e dispositivos de segurança para motociclistas
Adaptação às condições de circulação local	- Redução da velocidade máxima - Proibição de ultrapassagem anteriormente permitidas - Sinalização de congestionamento e radares com deteção de paragens no tráfego

- Abrangência das concessões: Também foi intencional que houvesse uma variedade de localizações de diferentes concessões para tornar a análise mais abrangente. Este critério foi um fator eliminatório para situações semelhantes e ao invés de se selecionar todos os locais de uma mesma autoestrada ou concessão, ponderou-se optar pela pluralidade.

Da aplicação dos critérios considerados resultaram 6 potenciais locais de estudo, conforme mostra em resumo a tabela abaixo. As descrições geométricas, geográficas e particularidades dos locais e das suas medidas, assim como as informações sobre a recolha e tratamento de dados serão discutidas individualmente no próximo subcapítulo.

Tabela 2 - Locais selecionados para aplicação da metodologia

Concessão	Autoestrada	Localização – Sublanço	Implementação	Efeitos da implementação
NT	A7	EN206 / Famalicão	28/11/2017	dez/17
CP	A29	Granja / Miramar	02/05/2017	mai/17
CP	A44	Madalena / Coimbrões	30/05/2018	jun/18
GP	A4	Ponte da Pedra / Via Norte	01/09/2017	set/17
GL	A16	Idanha / Crel	09/08/2018	ago/18
GL	A16	Sintra / Lourel	09/08/2018	ago/18

Nota-se que estes relatórios foram feitos com base nos dados do ano anterior ao estudo, e a data de implementação pode ser variada devido ao processo burocrático da empreitada para realização de cada intervenção nas vias. Considerando que nos casos em estudos cada processo possui suas particularidades, foi necessário estabelecer parâmetros de homogeneidade para a análise ser feita com base nos mesmos princípios para todos.

Nesse contexto, a data de implementação utilizada foi baseada no dia final de conclusão das empreitadas de todas as medidas agregadas, visto que apesar das medidas de um mesmo local não terem sido todas concluídas no mesmo dia. Além disso, como a análise foi feita por meses e não por dias, foi considerado que entre os dias 1 e 15 os efeitos da implementação seriam válidos a partir do mês corrente, e entre os dias 16 e 31 a partir do mês seguinte, conforme consta na última coluna da tabela.

3.2. CARACTERIZAÇÃO

Optou-se por estudar 6 locais definidos por meio da aplicação dos critérios de variedade já mencionados, que neste capítulo é feita a sua caraterização em termos: de geometria, de sinistralidade e das medidas de mitigação realizadas para selecionar e ajustar a metodologia que mais se ajusta a cada situação.

3.2.1. LOCAL 1: SUBLANÇO EN206 – FAMALICÃO (A7), PK 19+000 AO 19+500, SENTIDO CRESCENTE

O primeiro local é o trecho situado entre o ponto de quilometragem (PK) 19+000 e 19+500, no sentido crescente do sublanço EN206/Famalicão, destacado a vermelho na Figura 6, fazendo parte da autoestrada A7 que está inserida na Concessão Norte, mais precisamente no distrito de Braga, sub-região de Ave e cidade Vila Nova de Famalicão.

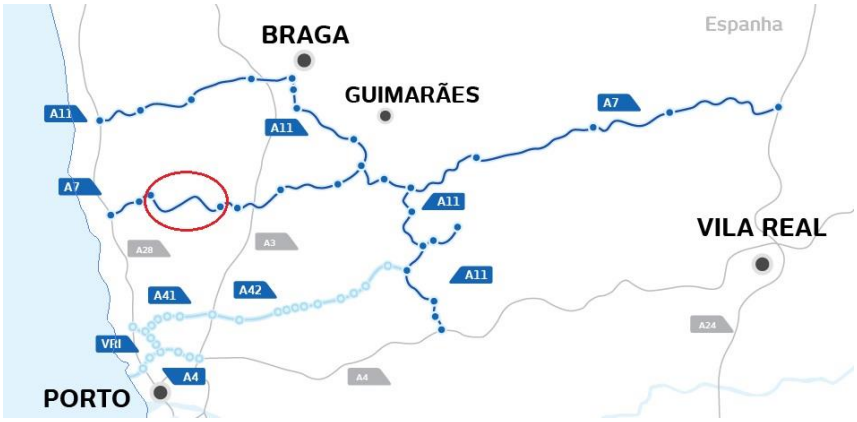


Figura 6 - Local 1 assinalado na Concessão Norte (Fonte: Ascendi)

O traçado é uma curva circular com raio de 450 metros seguida por uma clotóide de 225 metros, com duas faixas de rodagem sendo uma em sentido crescente e outra em sentido decrescente, compostas cada uma por duas vias de circulação de 3,75 metros de largura cada, bermas exteriores de 3,75 metros e bermas interiores de 1 metro, sendo possível a visualização em planta na Figura 7.



Figura 7 - Traçado em planta do local 1 (Fonte: SIG Ascendi)

O trecho analisado no relatório feito em 2017 teve como base os dados de 2016, que acarretou na definição do local como Ponto Negro pela concentração anormal de acidentes de gravidade elevada, conforme definição supramencionada, e cujas conclusões para os motivos principais dos acidentes seriam o excesso de velocidade e o incumprimento da sinalização existente.

Compreender os motivos para que ocorra tantos acidentes em determinada localização é uma tarefa em geral especulativa, mas que exige perceções avançadas na área rodoviária para possibilitar a proposição de intervenções que diminuam ou até mesmo cessem tais ocorrências.

Apesar da análise se concentrar em 150 metros, o sublanço a que pertence possui aproximadamente 17 km de extensão, do PK 2+919 e 20+216 da autoestrada A7, porém é comum haver imprecisões na recolha de informações para a base de dados, como alterações nos relatórios de acidentes e também erros no momento da inserção dos dados dos pontos de quilometragem exatos.

Assim, ao invés de considerar os 150 metros, foram utilizados os dados entre o PK 18+000 e o 20+216 (fim do sublanço) totalizando 2,2 km, o que possibilita maior margem de erro devido a incertezas e imprecisão dos dados resultantes por exemplo, do registo da localização dos acidentes.

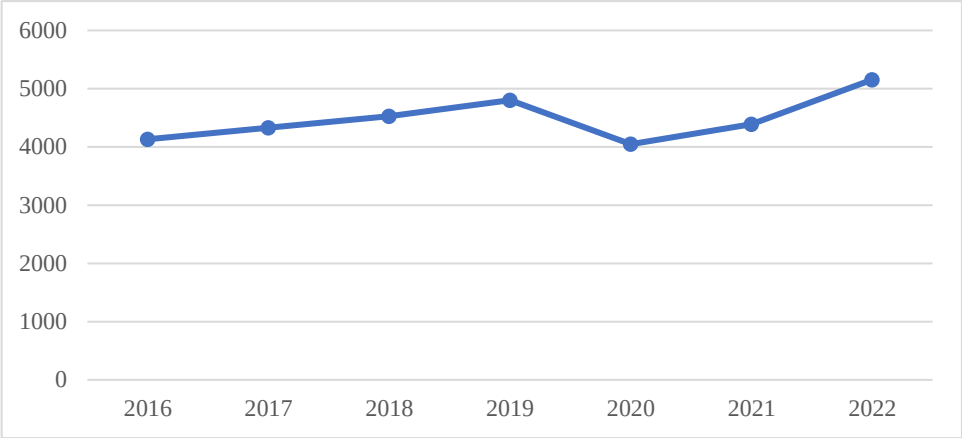
A Ascendi também realiza a contagem de veículos que circulam na plena via das autoestradas, o que serve como base para o cálculo do tráfego, uma importante fonte de informação que permite fazer análises para avaliar, por exemplo, a existência ou não de relações com o número de acidentes ocorridos.

A tabela e o gráfico abaixo mostram o tráfego médio diário anual (TMDA) dos anos aferidos, onde se nota uma queda no ano 2020 provavelmente devido aos efeitos do Covid-19 na mobilidade urbana, seguido pela tendência de se retornar ao valor médio nos anos posteriores.

Tabela 3 - TMDA no local 1

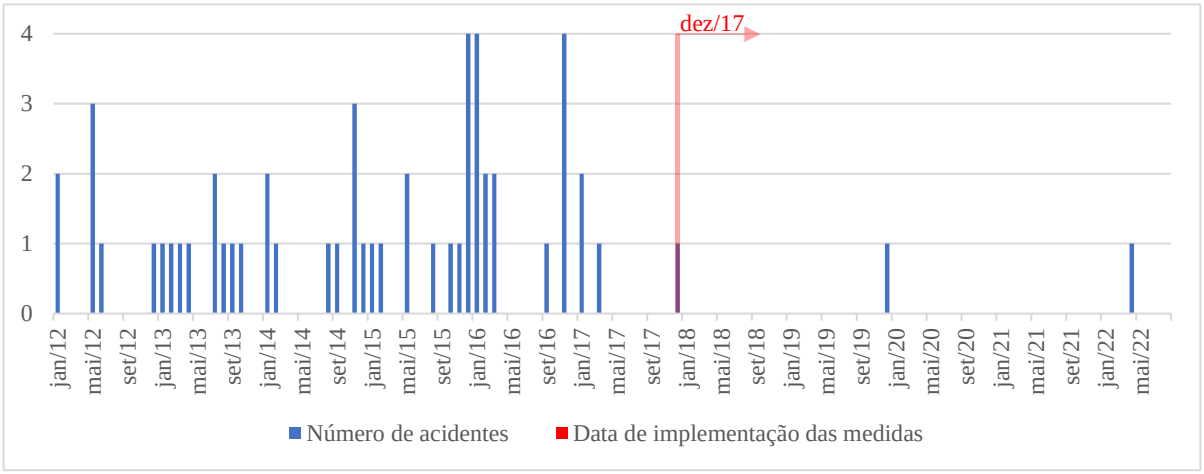
Local 1: A7 Sublanço EN2016/Famalicão PK 19+000 ao 19+500 Sentido Crescente	
Ano	**TMDA**
2016	4133
2017	4331
2018	4525
2019	4801
2020	4047
2021	4391
2022	5155

Gráfico 1 - TMDA no local 1



Já no Gráfico 2, pode-se ver a evolução dos acidentes ao longo dos últimos 10 anos, período em que houve aferição dos dados, entre janeiro de 2012 e agosto de 2022 no sublanço em análise. Encontra-se destacado a vermelho a data a partir da qual são considerados os efeitos da intervenção (dezembro/2017).

Gráfico 2 - Acidentes do local 1 nos últimos 10 anos



Devido ao alto volume de acidentes ocorridos em 2016, foram implementadas medidas com o objetivo de conter a possível progressão, como a granalhagem para aumentar o atrito do pavimento, a colocação de dois sinais verticais de indicação de velocidade máxima (C13) com LED's incorporados no PK 18+500, e também dois painéis informativos de zona de acidentes no PK 17+700, ou seja, ambos a montante do trecho analisado, para que os efeitos pudessem surtir nos quilómetros seguintes onde se encontrava o ponto negro.

A Figura 8, retirada do plano de propostas ilustra a localização das sinalizações colocadas, bem como suas características geométricas e a Figura 9 ilustra a implementação final, que ficou de acordo com o previsto.



Figura 8 - Proposta das medidas de mitigação para o local 1 (Fonte: Ascendi)

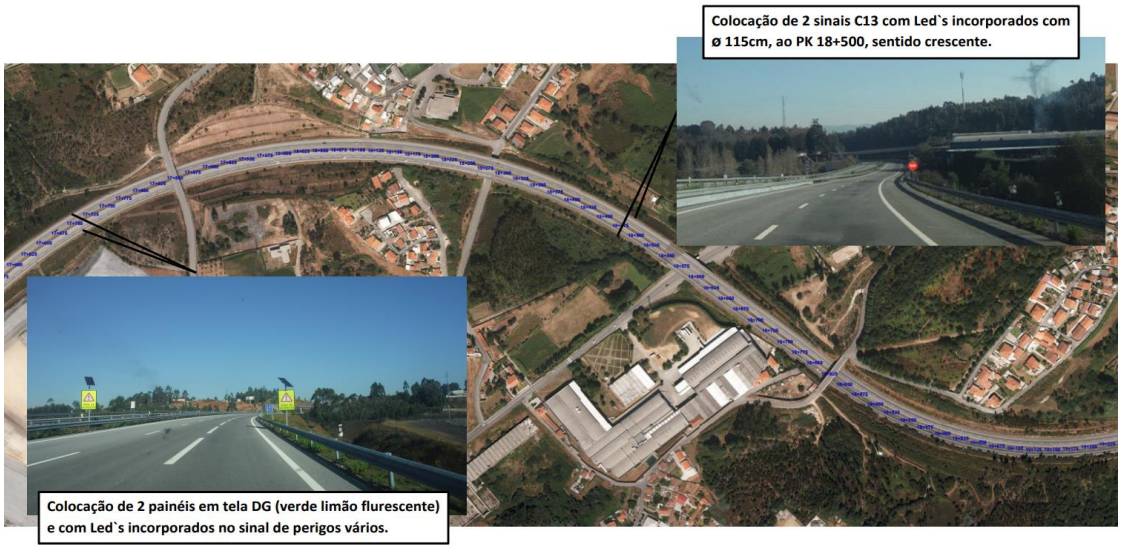


Figura 9 - Implementação final das medidas de mitigação para o local 1 (Fonte: Ascendi)

3.2.2. LOCAL 2: SUBLANÇO GRANJA – MIRAMAR (A29), PK 44+900 AO 45+525, SENTIDO CRESCENTE

O segundo local faz parte de uma compilação de estudos feitos na autoestrada A29 em vários sublanços. O trecho escolhido situa-se no sublanço Granja/Miramar entre os PK's 44+900 e 45+525 no sentido crescente da Concessão Costa de Prata (CP), assinalado a vermelho na Figura 10, na cidade de Vila Nova de Gaia, Distrito do Porto.

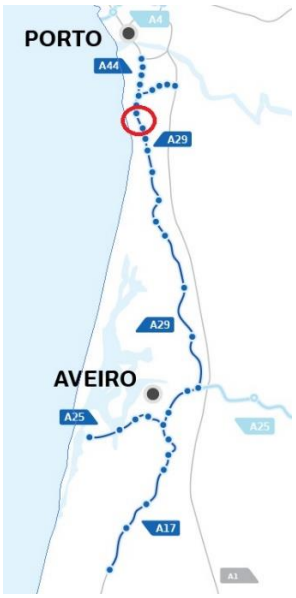


Figura 10 - Local 2 assinalado na Concessão Costa de Prata (Fonte: Ascendi)

No trecho também existem duas faixas de rodagem, uma por sentido, porém com características mais distintas do que o local 1. No sentido analisado, a faixa começa com duas vias de circulação até a zona de saída, onde é inserida uma via de desaceleração ao PK 45+000. Depois volta a ter duas vias durante a passagem pela obra de arte e em seguida há uma zona de entrada no PK 45+500 onde o trecho passa a ter três vias de circulação.

O traçado inicia-se com uma clotóide de 220 metros que introduz curva de raio 450 metros entre o PK 45+062 e o 45+181, voltando em seguida novamente a clotóide com 220 metros, terminando em reta até o PK 45+563. As bermas exteriores possuem 2,5 metros, as bermas interiores 1 metro e as vias de circulação 3,5 metros cada.

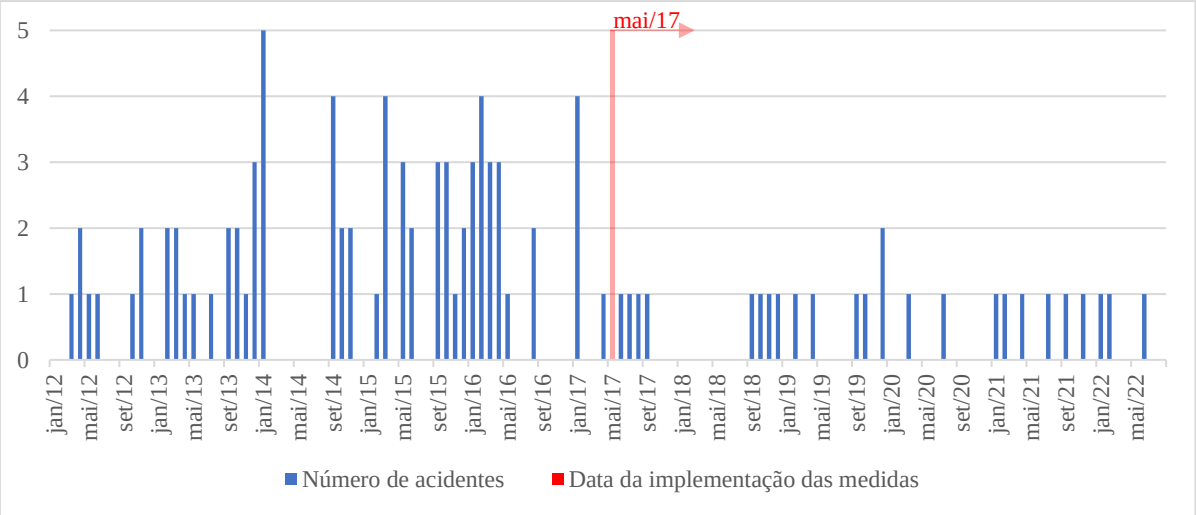


Figura 11 - Traçado em planta do local 2 (Fonte: SIG Ascendi)

Os dados utilizados para elaboração do relatório aludem ao período de janeiro de 2016 a outubro de 2016, definindo o trecho como uma zona de acumulação de acidentes pelas características apresentadas, sendo então um lanço problemático com necessidades de intervenções.

Assim como no local 1, foi utilizada uma extensão maior pela impossibilidade de se selecionar o local exato dos acidentes. Então ao invés dos 650 metros em análise, foi considerado todo o sublanço que possui ao todo aproximadamente 2,7 quilômetros do PK 42+645 ao 45+337. No gráfico abaixo é possível ver os acidentes registados no local entre janeiro de 2012 e agosto de 2022, e a data da implementação das medidas (maio/2017).

Gráfico 3 - Acidentes do local 2 nos últimos 10 anos

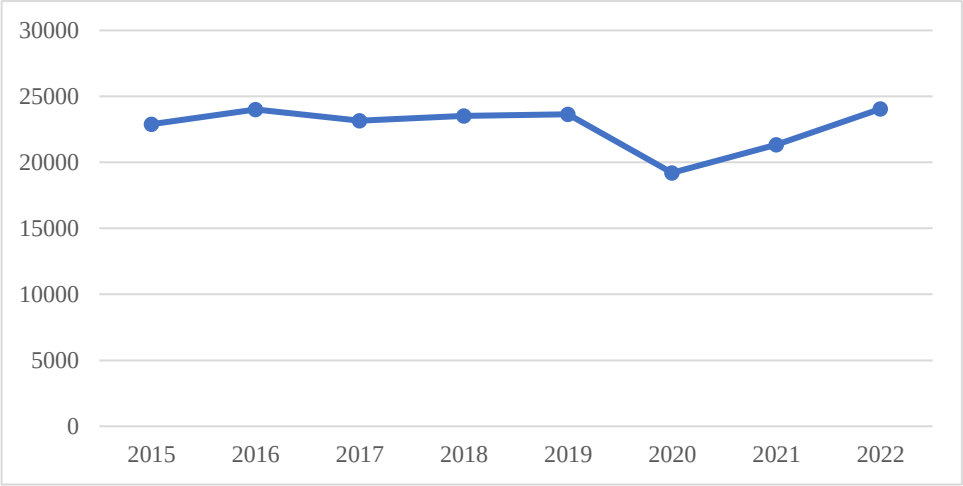


Os dados correspondentes ao tráfego médio diário anual que foram recolhidos são apresentados na Tabela 4 e Gráfico 4. Nota-se que que as variações percebidas no local 1 relativamente ao ano de 2020 e seguintes se mantém.

Tabela 4 - TMDA no local 2

Local 2: A29 Sublanço Granja/Miramar PK 44+900 ao 45+525 Sentido Crescente	
Ano	**TMDA**
2015	22893
2016	24022
2017	23162
2018	23514
2019	23656
2020	19211
2021	21346
2022	24055

Gráfico 4 - TMDA no local 2



As medidas para diminuição dos acidentes se encontram distribuídas pelo trecho: com a substituição da sinalização vertical de velocidade máxima (C13) por sinais com LED's embutidos no PK 44+850; colocação de sinais complementares tipo O6a (chevrons) ao longo da curva circular, colocação de balizas nos biseis do PK 45+200 e do PK 45+500, reperfilamento do pavimento ao PK 45+335 do Nó de Miramar, colocação de chevrons na curva seguinte ao fim do trecho em estudo, e por fim a instalação no separador central de lamelas de anti encandeamento com triângulos em tela DG (amarelos) aplicados conforme exemplo da Figura 12, entre o PK 45+700 ao PK 46+150.



Figura 12 - Lamelas anti encandeamento (Fonte: Ascendi)

3.2.3. LOCAL 3: NÓ DE COIMBRÕES – RAMO E (A44), SENTIDO DECRESCENTE

Também parte da Concessão Costa de Prata, mas pertencente à autoestrada A44, o terceiro local é o ramo E do nó de Coimbrões que faz parte do sublanço Madalena/Coimbrões entre os PK's 3+926 e 4+165 no sentido decrescente, localizado na cidade de Vila Nova de Gaia e distrito do Porto.



Figura 13 - Local 3 assinalado na Concessão Costa de Prata (Fonte: Ascendi)

Os dados que resultaram na elaboração do estudo tiveram como base o período entre janeiro e março de 2018, onde se concluiu ser uma zona com frequência de acidentes causada principalmente pelo incumprimento dos limites de velocidade associados ao tipo de traçado.

Como se nota na planta apresentada na Figura 14, o ramo E assinalado em vermelho desemboca em Coimbrões, marcando o início da concessão Costa de Prata ao fazer a ligação de entrada no sublanço Madalena/Coimbrões sentido decrescente. Esta transição ocorre em 237 metros, em curva e contracurva de baixo raio com um perfil de 2 vias de secção corrente de 3,5 metros cada e berma exterior de 2,5 metros.

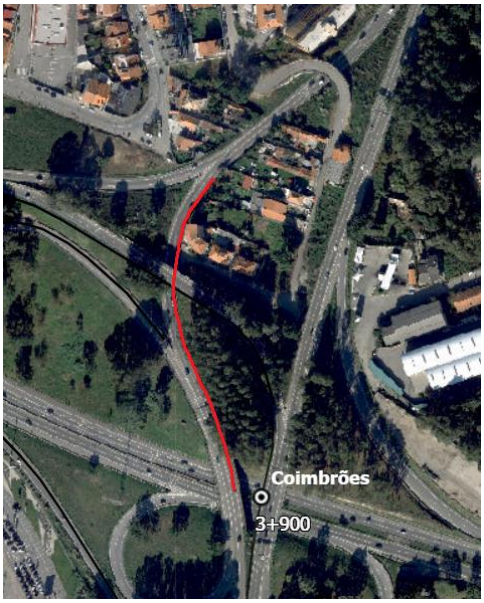
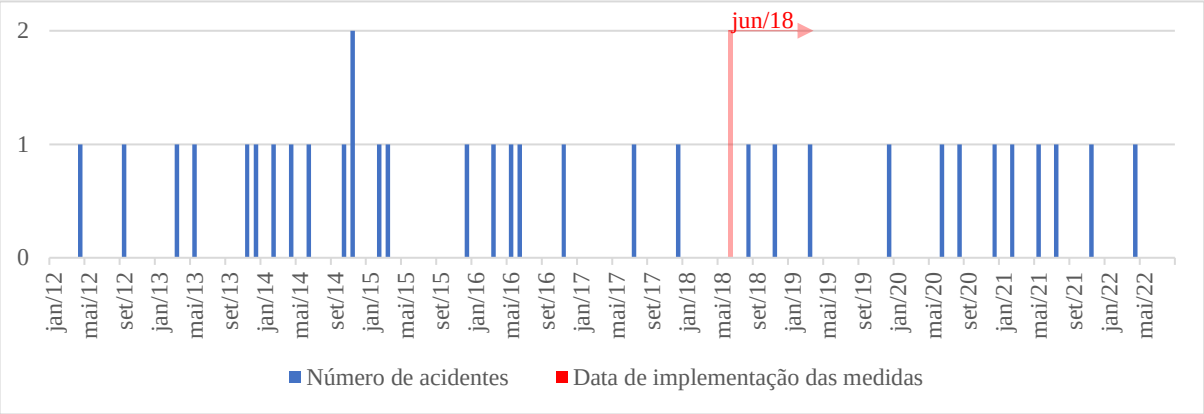


Figura 14 - Traçado em planta do local 3 (Fonte: SIG Ascendi)

Para o estudo, não foi possível obter dados do trecho anterior ao ramo por não fazer parte da rede da Ascendi. Em alternativa foi considerado o sublanço Madalena/Coimbrões, subsequente ao ramo, que vai do PK 3+103 ao 3+927 e que por estar conectado ao ramo sofre consequências diretas dos acidentes ocorridos no mesmo.

O gráfico a seguir apresenta a incidência de acidentes nos últimos 10 anos entre o período de janeiro de 2012 e agosto de 2022, para visualização da situação do ramo ao longo do tempo, com destaque para a data de conclusão da intervenção a vermelho (junho/2018).

Gráfico 5 - Acidentes do local 3 nos últimos 10 anos



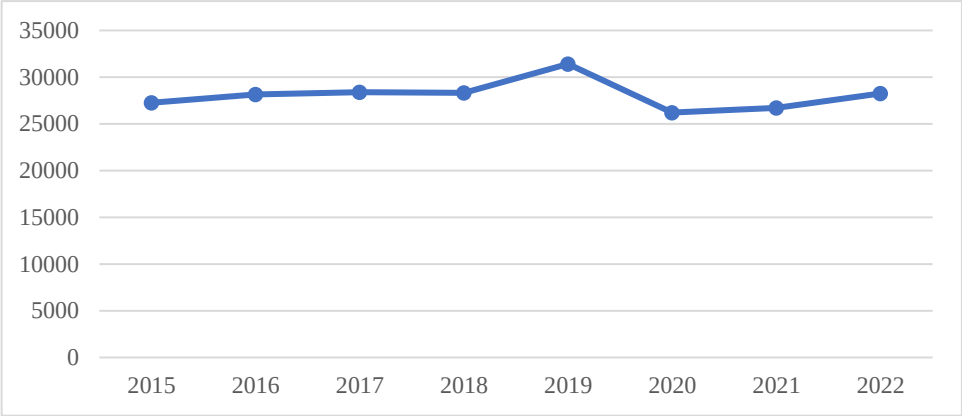
Como mencionado anteriormente, a Ascendi realiza a contabilização do tráfego das autoestradas em plena via, mas isso não ocorre com os ramos. Porém, de modo empírico foi obtida uma aproximação do tráfego com base nos dados do sublanço em ligação com o ramo, e na quantidade de ramos do nó para analisar as contribuições de entrada e saída de veículos em cada ramo.

Os resultados estão apresentados abaixo bem como a visualização gráfica que evidencia claramente a existência de um aumento do tráfego em 2019 seguido por uma queda em 2020, tal como nos casos anteriores, mas de maior amplitude.

Tabela 5 - Estimativa do TMDA no local 3

Local 3: A44 Sublanço Madalena/Coimbrões Nó de Coimbrões Ramo E Sentido Decrescente	
Ano	**TMDA**
2015	27260
2016	28137
2017	28406
2018	28309
2019	31413
2020	26213
2021	26727
2022	28248

Gráfico 6 - Estimativa do TMDA no local 3



Como soluções para mitigar os acidentes no local, foram propostas as medidas ilustradas na Figura 15, com a colocação de sinalização vertical tipo C13 de velocidade e tipo O9a de chevrons, ambos com LED's incorporados e colocação de 15 balizas na entrada do ramo e 23 balizas ao meio do ramo no PK 4+040, 125 metros após o início do ramo. Além disso, foram instaladas guardas de segurança duplas em ambos os lados ao longo de todo o ramo com um dispositivo de proteção a motociclistas incorporado, que prevê atenuar a gravidade dos impactos nas guardas.

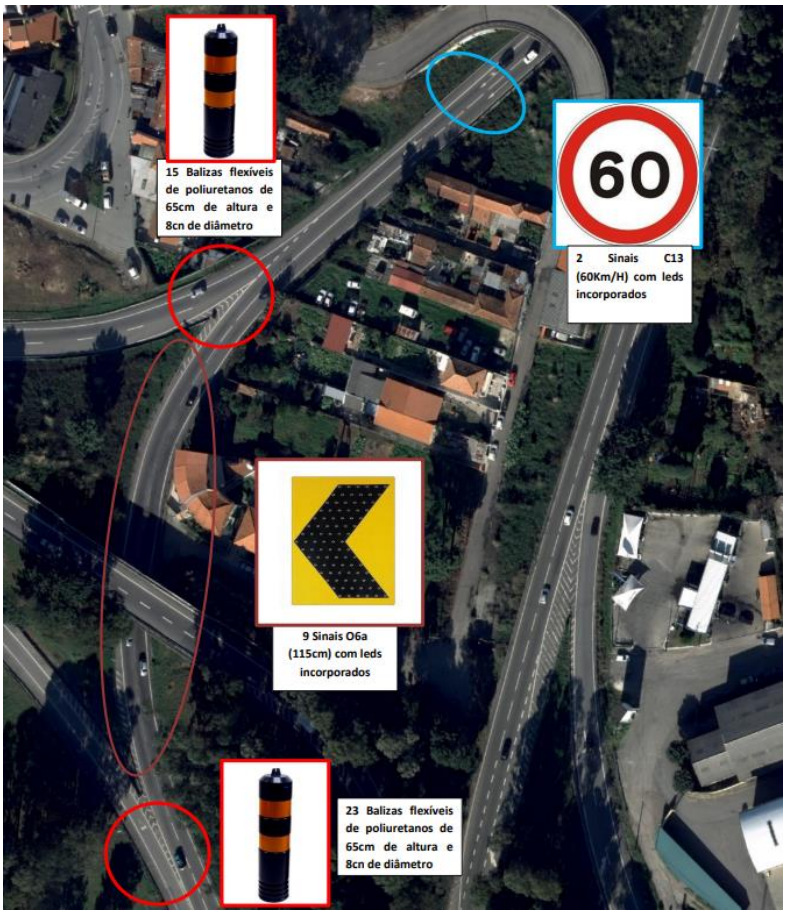


Figura 15 - Proposta de intervenção no local 3 (Fonte: Ascendi)

3.2.4. LOCAL 4: NÓ DA PONTE DA PEDRA – RAMO C (A4), SENTIDO DECRESCENTE

O quarto estudo incide sobre o ramo C do nó da Ponte da Pedra, inserido no sublanço Ponte da Pedra/Águas Santas da autoestrada A4 da Concessão Grande Porto e no sentido decrescente. Este local, que faz parte da cidade de São Mamede da Infesta, concelho de Matosinhos, no distrito do Porto está assinalado na Figura 16.

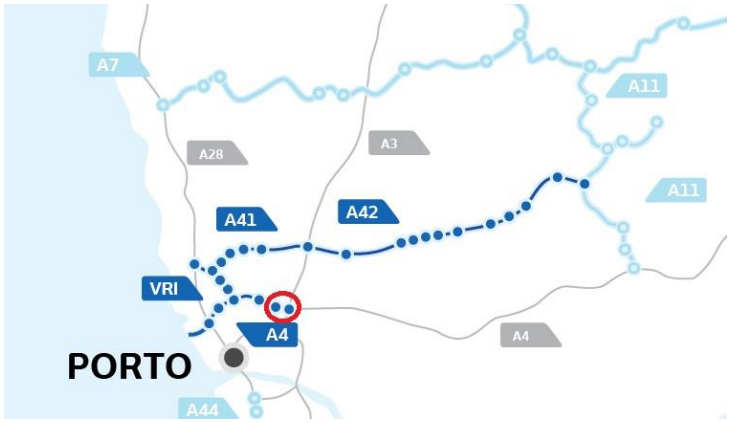


Figura 16 - Local 4 assinalado na Concessão Grande Porto (Fonte: Ascendi)

O ramo começa ao PK 6+350 após a via de desaceleração do sublanço, e diverge para que o ramo possua duas vias de circulação, cada uma com 3,50 metros cada com berma exterior de 2,5 metros. O traçado é composto por uma curva a direita, contracurva e depois nova curva a direita, compondo um ramo sinuoso que se nota abaixo de curvas acentuadas.

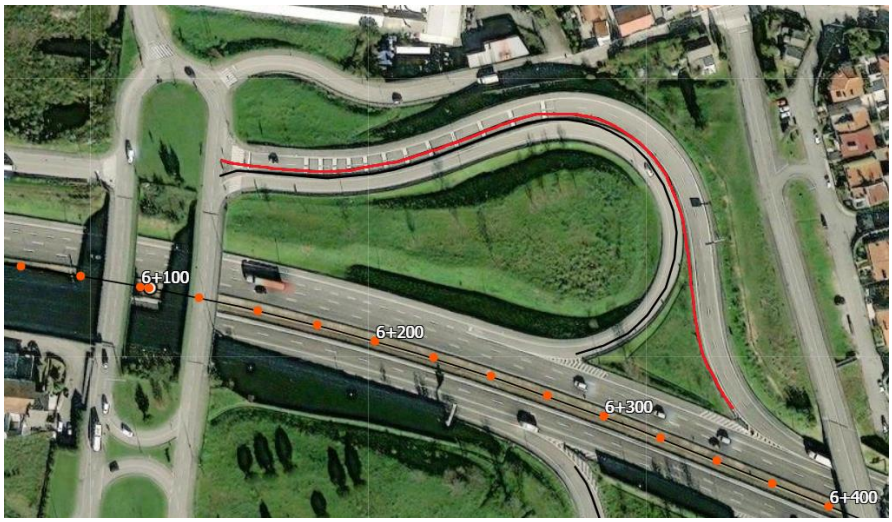


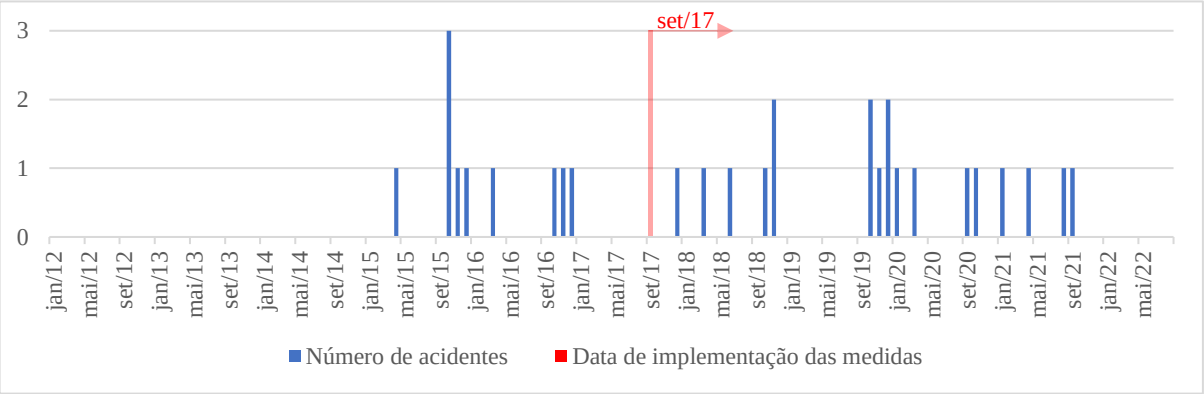
Figura 17 - Traçado em planta do local 4 (Fonte: SIG Ascendi)

Pelo relatório de análise, com os dados coletados em 2016, foi concluído que o motivo principal da frequência de acidentes seria o baixo atrito do pavimento, que influencia os níveis de aderência principalmente em condições meteorológicas adversas como a precipitação. Assim, a intervenção proposta para o local, foi realizar um processo de granalhagem em todo o ramo C e na via de desaceleração anterior.

Considerando que o ramo está inserido no sublanço Ponte da Pedra/Águas Santas, ao invés de se considerar os 300 metros de extensão do ramo, foram utilizados os dados do sublanço em questão que se inicia no PK 6+104 e termina no PK 7+959, totalizando 1,8 km.

A seguir, no gráfico constam os números de acidentes que ocorreram no local ao longo dos anos desde o início de janeiro de 2012 até o fim de agosto de 2022. Foi evidenciada a data de implementação das medidas (setembro/2017) com uma separação a vermelho que distingue o período anterior e posterior à intervenção.

Gráfico 7 - Acidentes do local 4 nos últimos 10 anos



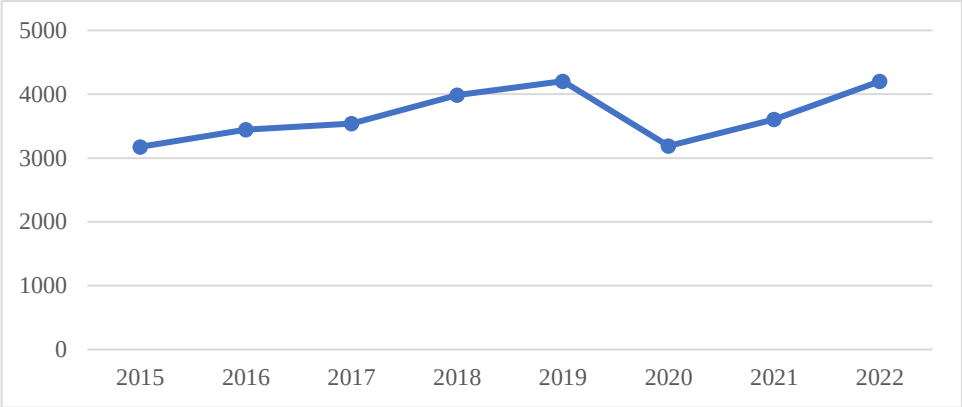
Tal como ocorre no local 3, o TMDA do local em estudo foi obtido indiretamente, de forma empírica utilizando os dados dos sublanços que estão em ligação com o ramo (antes e depois), a quantidade de ramos no nó e os respetivos sentidos.

O gráfico mostra que houve uma queda no tráfego em 2020, seguido pela tendência em retornar à média, conforme resultados abaixo.

Tabela 6 - Estimativa do TMDA no local 4

Local 4: A4 Sublanço Ponte da Pedra/Águas Santas Nó da Ponte da Pedra Ramo C Sentido Decrescente	
Ano	**TMDA**
2015	3176
2016	3445
2017	3539
2018	3989
2019	4205
2020	3188
2021	3606
2022	4201

Gráfico 8 - Estimativa do TMDA no local 4



3.2.5. LOCAL 5: NÓ DA CREL – RAMO B (A16), SENTIDO CRESCENTE

O quinto local é o ramo B do nó da Crel sentido crescente, que está inserido na Concessão Grande Lisboa, no concelho de Sintra e pertence ao sublanço Idanha/Crel da autoestrada A16. A imagem abaixo mostra em destaque a zona onde se localiza o sublanço em relação ao mapa da concessão.



Figura 18 - Local 5 assinalado na Concessão Grande Lisboa (Fonte: Ascendi)

O trecho possui 480 metros, com duas vias de 3,75 metros cada, berma exterior com 2,5 metros e berma interior com 1 metro. Constitui um traçado em curva bem acentuada com raio relativamente baixo de aproximadamente 170 metros seguida por contracurva mais alongada de maior raio.

Na Figura 19 é possível visualizar assinalado avermelho os limites do ramo iniciando no nó da Crel, o qual marca o fim da autoestrada A16, ou seja, o ramo constitui uma saída para outra autoestrada já não pertencente à rede da Ascendi.

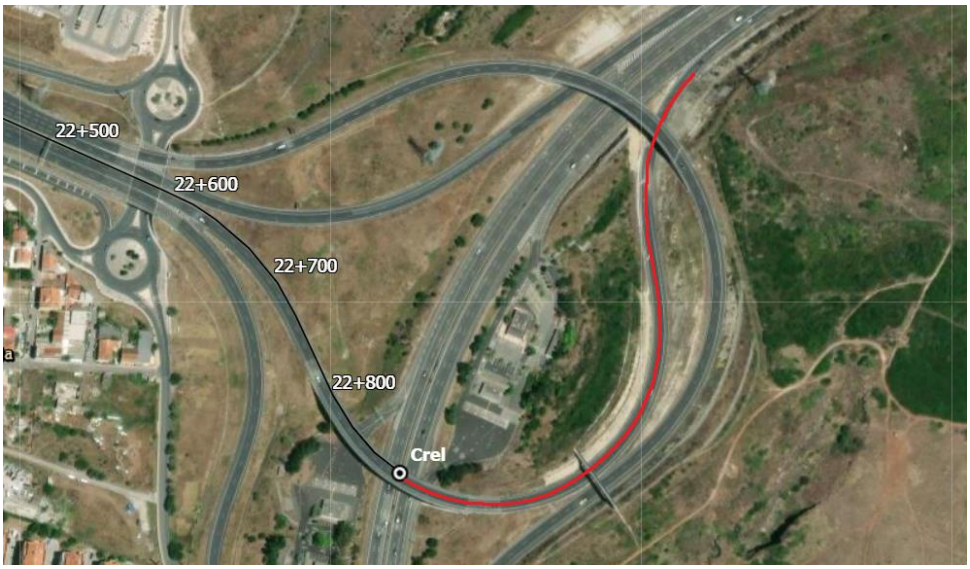
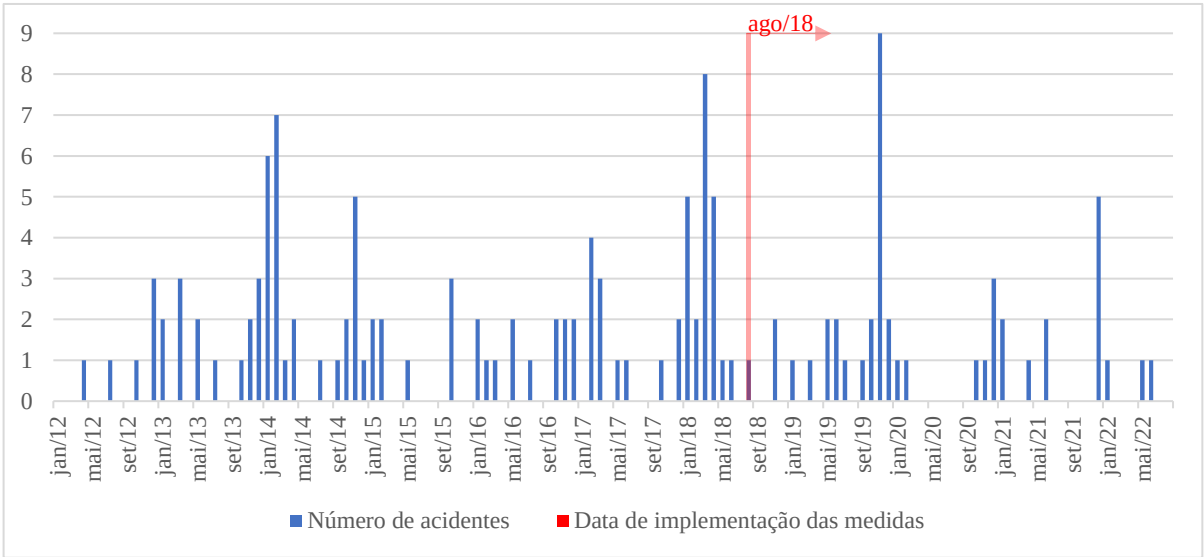


Figura 19 - Traçado em planta do local 5 (Fonte: SIG Ascendi)

Novamente, não há existência de dados suficientes que permitam a análise separada dos ramos, portanto foi considerado o sublanço anterior ao qual o ramo se integra para o estudo do número de acidentes, sendo então o Idanha/Crel no sentido crescente entre o PK 21+545 e o PK 22+882, perfazendo 1,3 km.

Para uma visão global dos últimos 10 anos, o gráfico abaixo mostra a frequência de acidentes no local, também para o período equivalente entre janeiro de 2012 e agosto de 2022, e a data da intervenção em que as medidas foram implementadas (agosto/2018).

Gráfico 9 - Acidentes do local 5 nos últimos 10 anos

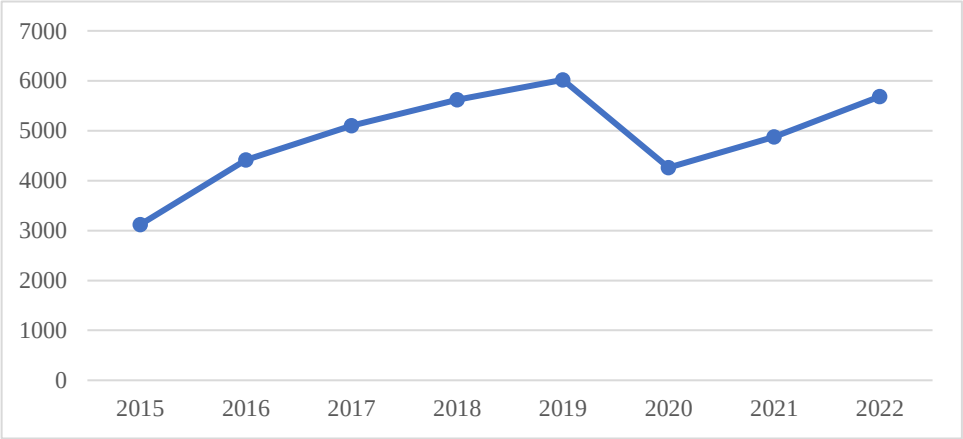


Os dados de contagem de veículos foram estimados de acordo com os mesmos princípios utilizados para os locais 3 e 4, e caracterizam uma tendência de aumento progressivo no tráfego do local 5, com uma interrupção em 2020 onde houve diminuição abrupta no tráfego, considerada como um fenómeno excecional pois posteriormente ocorre novamente a regressão de valores à tendência natural crescente que estava a ser apresentada.

Tabela 7 - Estimativa do TMDA no local 5

Local 5: A16 Sublanço Idanha/Crel Nó da Crel Ramo B Sentido Crescente	
Ano	**TMDA**
2015	3119
2016	4413
2017	5099
2018	5623
2019	6019
2020	4261
2021	4879
2022	5684

Gráfico 10 - Estimativa do TMDA no local 5



O relatório de estudo do local considerou os dados entre janeiro e março de 2018 e chegou a resolução de que para diminuir o risco, deveriam ser implementadas as medidas que constam na Figura 20. Nota-se que a curva do ramo é bastante angulosa e de visibilidade limitada, é um fator que influencia negativamente na segurança rodoviária, portanto foi proposto o reforço de alerta para a sinalização vertical com a utilização de LED's incorporados nos chevrons, no sinal de curva acentuada e o de velocidade máxima.

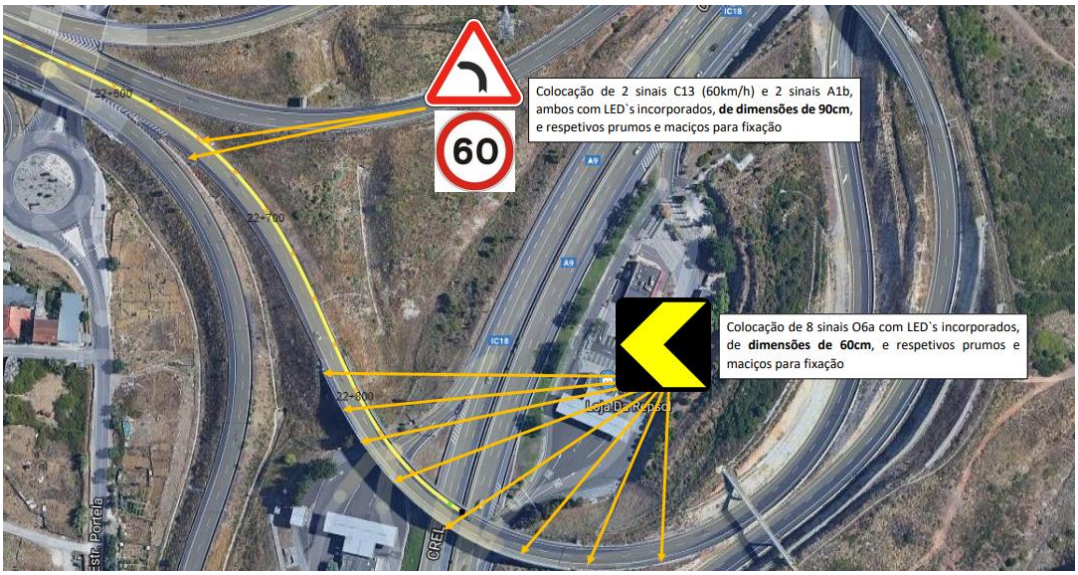


Figura 20 - Medidas de intervenção propostas para o local 5 (Fonte: Ascendi)

3.2.6. LOCAL 6: NÓ DE LOUREL – RAMO B (A16), SENTIDO CRESCENTE

O último local é o ramo B do nó de Lourel, também parte Concessão Grande Lisboa na autoestrada A16 e sentido crescente. O sublanço ao qual o nó integra é o de Sintra/Lourel na cidade de Sintra, circulado na Figura 21.



Figura 21 - Local 6 assinalado na Concessão Grande Lisboa (Fonte: Ascendi)

O ramo possui 483 metros, iniciando aproximadamente ao PK 11+600 e terminando ao PK 12+000 no denominado nó de Lourel. Conforme se vê abaixo na imagem, o traçado se inicia em reta, passa a ter uma curva circular a direita com raio de 300 metros seguida por uma curva a esquerda com raio de 171,80 metros. Após a via de desaceleração em reta que diverge com a plena via, passam a existir duas vias de circulação no restante do ramo com 3,5 metros cada e berma exterior de 2,5 metros.

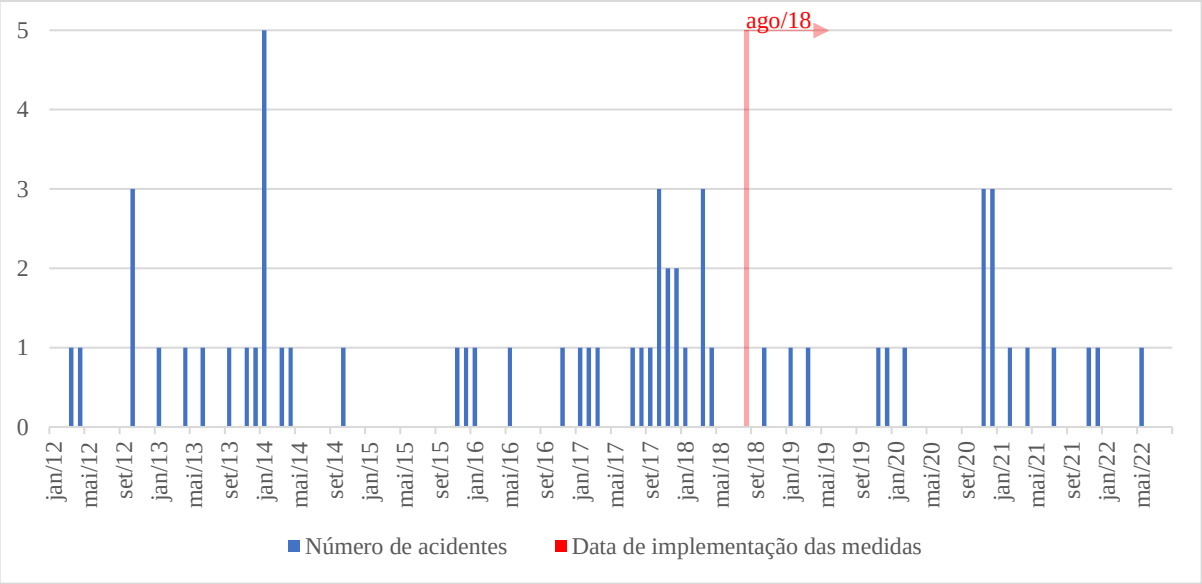


Figura 22 - Traçado em planta do local 6 (Fonte: SIG Ascendi)

Da mesma forma dos casos anteriores em que o estudo não é possível analisar separadamente e para manter a homogeneidade, foi considerado o sublanço de Sintra/Lourel ao qual o nó de Lourel pertence para se chegar aos resultados do local 6, do PK 10+939 ao 12+000 (1 km).

Os números de acidentes ocorridos no local em questão foram recolhidos e compilados para se gerar o Gráfico 11, que apresenta os dados para 01 janeiro de 2012 a 31 agosto de 2022, bem como a indicação da data a partir da qual são analisados os efeitos da intervenção (agosto/2018).

Gráfico 11 - Acidentes do local 6 nos últimos 10 anos

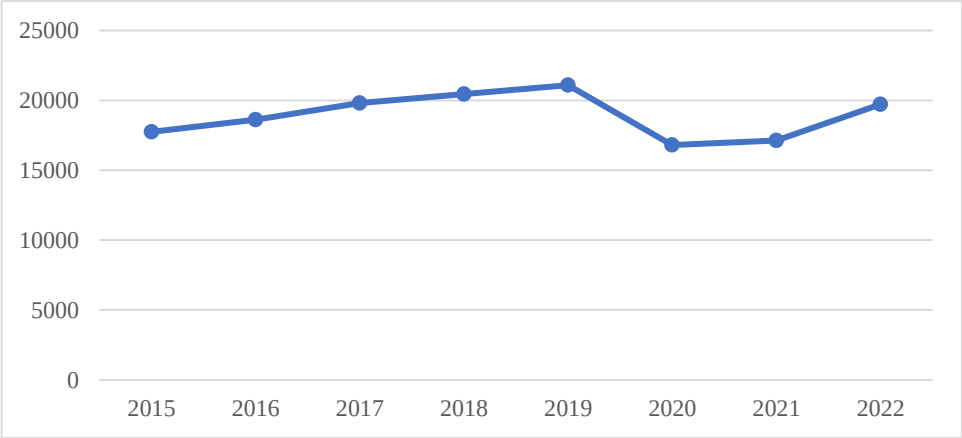


Quando ao tráfego, apresenta as mesmas tendências observadas nos casos anteriores, e teve seus valores estimados da mesma forma empírica que considera os dados da envolvente do local.

Tabela 8 - Estimativa do TMDA no local 6

Local 6: A16 Sublanço Sintra/Lourel Nó de Lourel Ramo B Sentido Crescente	
Ano	**TMDA**
2015	17734
2016	18614
2017	19795
2018	20445
2019	21085
2020	16801
2021	17134
2022	19713

Gráfico 12 - Estimativa do TMDA no local 6



O relatório de análise para proposta de soluções considerou o período entre janeiro e março de 2018, definindo o local como zona de acumulação de acidentes, principalmente devido as características da via associadas ao excesso de velocidades praticado pelos condutores.

Foram então propostas medidas voltadas para a redução da velocidade limite, a utilização de LED's incorporados na sinalização vertical para gerar alerta aos condutores. Assim, tanto os sinais de indicação de velocidade máxima, quanto os chevrons ao longo de toda curva circular e os sinais de curvas acentuadas foram substituídos para nova sinalização com LED's.

Como complemento para adequação da sinalização às condições locais, foram colocados sinais do tipo C20b de fim de limitação de velocidade máxima e também realizada a modificação do local de instalação do sinal H38 que indica o fim da autoestrada, para realocação 25 metros a montante da posição original e eliminação do sinal de repetição do lado esquerdo.

Todas as medidas que foram implementadas e suas disposições finais se encontram indicadas na próxima imagem, onde é possível ver o mapa do ramo em análise e as intervenções associadas.

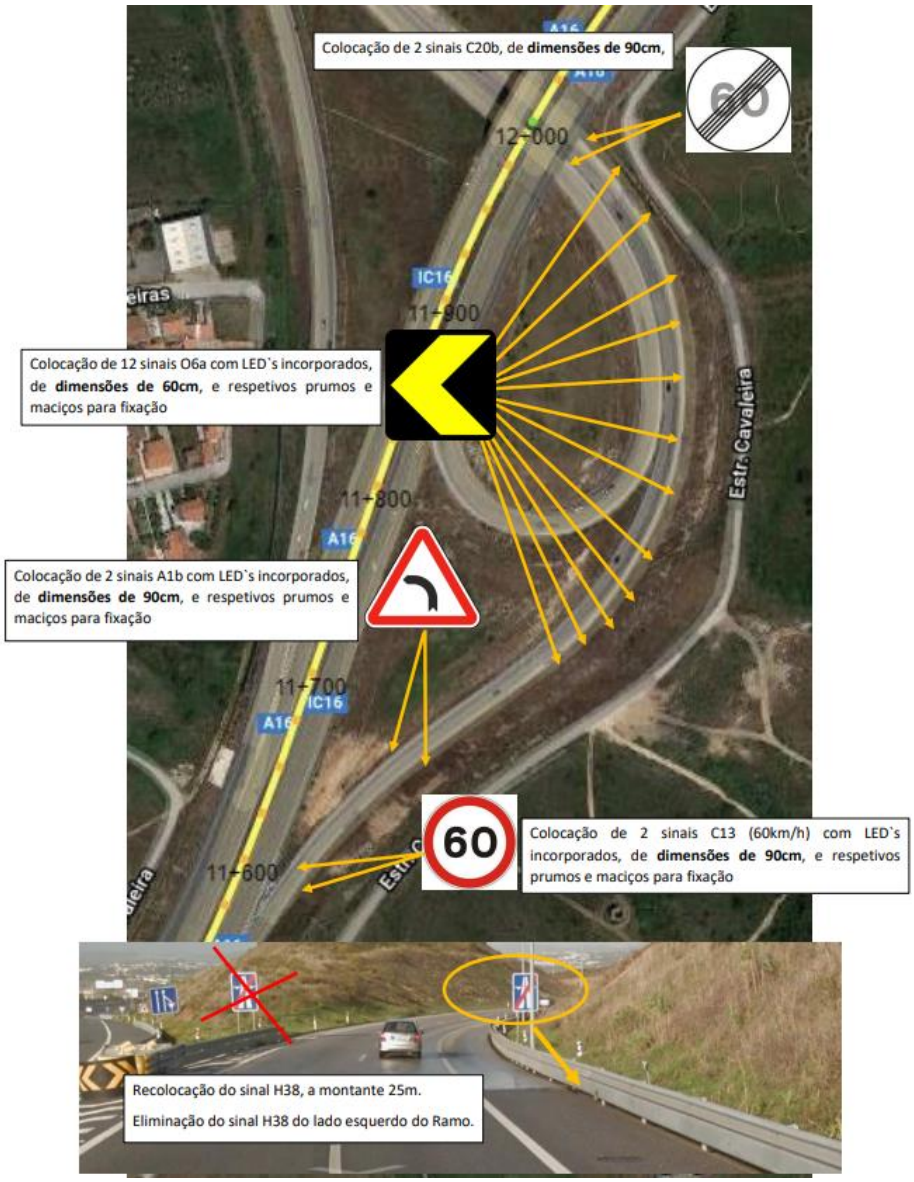


Figura 23 - Intervenções propostas para o local 6 (Fonte: Ascendi)

4.

APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

Como visto no capítulo 2, existem vários tipos de metodologias que versam sobre a eficácia de tratamentos para melhoria da segurança rodoviária, e que cada possui suas vantagens e desvantagens. Em áreas mais exatas ou de vasta literatura, é de senso comum que se pretenda utilizar o método com mais vantagens pois consequentemente os resultados seriam mais certos e confiáveis [9]. Porém, a escassez de estudos relativos ao tema em questão faz com que seja necessário avaliar diferentes aspetos de um local, tornando imprescindível uma prévia avaliação dos dados disponíveis e de adequação aos métodos existentes.

Para se ter uma perceção mais alargada dos resultados, optou-se por aplicar mais de um método e desta forma ter margem para compará-los por princípios distintos, constatar se as intervenções realizadas surtiram efeito ou não, e então concluir na prática se houve dispersões causadas nos resultados e quais foram suas magnitudes conforme as precisões dos cálculos.

4.1. ENQUADRAMENTO ESTATÍSTICO

O efeito que a implementação dessas medidas causa na segurança rodoviária é julgado pela comparação entre π e λ, com as seguintes equações:

$$\delta = \pi - \lambda \tag{5}$$

δ expressa a redução no período 'depois' do número esperado de acidentes.

Sendo π o número de acidentes que seria esperado para um local no período 'depois' caso nenhuma medida tivesse sido aplicada; e λ o número de acidentes esperado para o período 'depois' no local em que houve a implementação de medidas.

Como citado, π e λ são valores esperados, o que significa que são desconhecidos, mas podem ser estimados por meio dos dados observados. Para representar a estimação estatística, usa-se $\hat{\pi}$ e $\hat{\lambda}$ como notação com o acento ^ acima das incógnitas, evidenciando que não é o valor real e sim uma estimativa. Para avaliar as diferenças entre o valor real e o estimado, utilizam-se medidas de dispersão como a variância (VAR) e o desvio padrão (σ), que também são estimados.

O valor $\hat{\delta}$ poderá ser obtido diretamente pela fórmula 5 utilizando $\hat{\pi}$ e $\hat{\lambda}$, e a correspondente variância será a soma das variâncias de $\hat{\pi}$ e $\hat{\lambda}$, usando a suposição de que essas incógnitas são independentes.

$$VAR(\hat{\delta}) = VAR(\hat{\pi}) + VAR(\hat{\lambda}) \tag{6}$$

Outra medida de avaliação dos efeitos das medidas de redução de acidentes é a razão de efetividade dada por θ e definida como λ/π, em que se esta relação for menor que 1 o tratamento foi efetivo, e se for maior que 1 foi prejudicial à segurança rodoviária. O estimador para essa razão segue a fórmula abaixo:

$$\hat{\theta} = \frac{\left(\frac{\lambda}{\pi}\right)}{\left(1 + \frac{VAR(\hat{\pi})}{\pi^2}\right)} \tag{7}$$

Sendo assim, a variância de $\hat{\theta}$ poderá será aproximada por:

$$VAR(\hat{\theta}) = \frac{\theta^2 * \left(\left(\frac{VAR(\hat{\lambda})}{\lambda^2}\right) + \left(\frac{VAR(\hat{\pi})}{\pi^2}\right)\right)}{\left(1 + \frac{VAR(\hat{\pi})}{\pi^2}\right)^2} \tag{8}$$

As equações 5 a 8 apresentadas fornecem toda a base e o enquadramento estatístico necessário para os métodos antes-depois que serão aplicados [9].

Pela avaliação das expressões 6 e 8, é possível concluir que a precisão com que δ e θ são estimados dependem da precisão com que λ e π são estimados, ou seja, da $VAR(\hat{\pi})$ e $VAR(\hat{\lambda})$.

Sendo assim, por meio da exatidão com que se prevê qual seria a frequência de acidentes sem as medidas implementadas e da exatidão com que se estima qual foi a frequência de acidentes após a implementação das medidas, é possível se chegar a resultados mais precisos, dependendo do método escolhido.

No caso de λ, é usual assumir que a frequência de acidentes segue a distribuição de Poisson, o que significa neste caso que o valor estimado $\hat{\lambda}$ e a sua variância serão iguais. Já para π a previsão de $\hat{\pi}$ é um pouco mais complicada porque implica lidar com uma eventualidade que não ocorreu e, portanto, não pode ser observada.

Os métodos de previsão variam desde assumir que o futuro se assemelharia ao passado, através de várias projeções de tendências temporais, até à contabilização de alterações no tráfego ou outros fatores independentes e compensações por enviesamentos. Consequentemente, a expressão que determinará a variância de $\hat{\pi}$ vai depender do método de previsão.

Em suma, os resultados objetivados em termos de valores são descritos por $\hat{\delta}$ e $VAR(\hat{\delta})$ ou por $\hat{\theta}$ e $VAR(\hat{\theta})$, são suficientes como base para análise sobre a efetividade das medidas de redução de risco de acidentes e servem também para comparação entre os resultados de diferentes estudos.

4.2. AVALIAÇÃO ANTES-DEPOIS SIMPLES

Considerando K o número de acidentes no período "antes" e L o número de acidentes no período "depois" e que a razão das durações dos períodos é dada por:

$$r_d(j) = \frac{Duração\ do\ período\ \ 'depois' para\ o\ local\ j}{Duração\ do\ período\ 'antes'\ para\ o\ local\ j} \quad (9)$$

Os valores que serão atribuídos a $\hat{\lambda}$, $\hat{\pi}$, $VAR(\hat{\lambda})$ e $VAR(\hat{\pi})$ para a abordagem simples pode ser vista na tabela abaixo.

Tabela 9 - Fórmulas de estimação de $\hat{\lambda}$, $\hat{\pi}$ e suas variâncias

Estimação dos parâmetros	Estimação das variâncias
$\hat{\lambda} = L$	$VAR(\hat{\lambda}) = L$
$\hat{\pi} = r_d * K$	$VAR(\hat{\pi}) = r_d^2 * K$

Os dados iniciais (inputs) para os 6 locais em análises se encontra na Tabela 10, incluindo o cálculo das estimativas previstas na Tabela 9.

Tabela 10 - Estimação de $\hat{\lambda}$, $\hat{\pi}$ e as suas variâncias nos locais em estudo

Local	Período "antes"	Período "depois"	Nº de acidentes "antes"	Nº de acidentes "depois"	Razão de durações	$\hat{\pi}$	$VAR(\hat{\pi})$
j	Meses	Meses	K	L	r_d	r_d * K	r_d^2 * K
1	71	57	52	3	0,8	41,7	33,5
2	64	64	76	25	1,0	76,0	76,0
3	77	51	21	12	0,7	13,9	9,2
4	68	60	10	19	0,9	8,8	7,8
5	68	60	76	69	0,9	67,1	59,2
6	79	49	42	18	0,6	26,1	16,2

Utilizando esses valores, os outros parâmetros abordados nas expressões 5 a 8 podem ser definidos.

Tabela 11 - Estimação dos parâmetros do método simples antes-depois

Local	$\hat{\lambda} = VAR(\hat{\lambda})$	$\hat{\pi}$	$VAR(\hat{\pi})$	$\hat{\delta}$	$VAR(\hat{\delta})$	$\hat{\theta}$	$VAR(\hat{\theta})$
1	3	41,7	33,5	38,7	36,5	0,071	0,0017
2	25	76,0	76,0	51,0	101,0	0,325	0,0055
3	12	13,9	9,2	1,9	21,2	0,824	0,0809
4	19	8,8	7,8	-10,2	26,8	1,958	0,4834
5	69	67,1	59,2	-1,9	128,2	1,016	0,0278
6	18	26,1	16,2	8,1	34,2	0,675	0,0345

4.3. AVALIAÇÃO ANTES-DEPOIS POR COMPARAÇÃO

Neste caso, supõe-se que a mudança ocorrida em termos de segurança rodoviária entre o período "antes" e o período "depois" de um local similar ao local em estudo traduz a mudança que ocorreria no local em estudo caso não tivessem sido implementadas medidas, por meio de relações comparativas.

Sendo r_c a razão de comparação do número esperado de acidentes 'depois' pelo número esperado de acidentes "antes" no local (ou grupo) de comparação, e indica como a contagem de acidentes é esperada mudar na ausência do tratamento. Na imagem abaixo é possível ter a visualização gráfica de seu significado, formando a inclinação da linha ligada à origem.

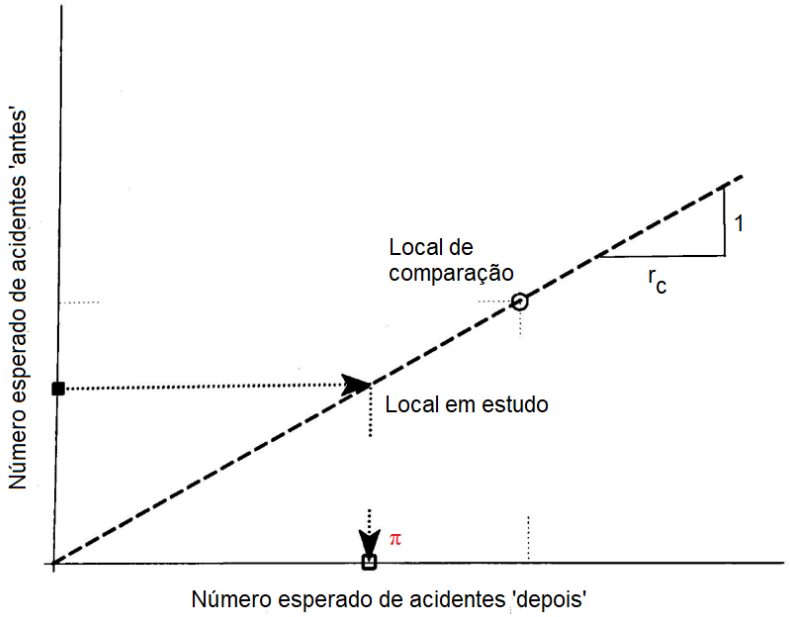


Figura 24 - Definição da razão de comparação (Adaptado de Hauer)

Portanto, presume-se que se o local em estudo não tivesse sofrido intervenções, o valor esperado do número de acidentes para o período "antes" seria:

$$\pi = (nº\ esperado\ de\ acidentes\ 'antes'\ no\ local\ de\ comparação) * r_c \quad (10)$$

Além dos indicadores K e L utilizados no método simples, serão utilizados M para o número de acidentes no período "antes" para o grupo de comparação e N para o número de acidentes no período depois. O valor esperado para cada um será denotado por letras gregas, conforme a tabela abaixo.

Tabela 12 - Contagem de acidentes e valores esperados

	Local em estudo	**Local de comparação**
Antes	K, κ	M, μ
Depois	L, λ	N, ν

Assim se torna exequível o estabelecimento das relações que envolvem este método. Como já citado, r_c é a razão dos valores esperados para o grupo de comparação.

$$r_c = \frac{\nu}{\mu} \quad (11)$$

Por conseguinte, r_t será a correspondente razão para o local de estudo.

$$r_t = \frac{\pi}{\kappa} \quad (12)$$

Reorganizando a equação 12, π então será:

$$\pi = r_t * \kappa \quad (13)$$

Idealmente, considerando que todos os fatores externos afetam ambos os locais da mesma forma, é esperado as duas razões sejam iguais ($r_t = r_c$), mas como na realidade é improvável que $\frac{r_c}{r_t} = 1$ de forma exata, define-se ω como uma variável que pode assumir diferentes valores em diferentes ocasiões.

$$\omega = \frac{r_c}{r_t} \quad (14)$$

Para se chegar aos resultados pretendidos, as estimativas dos parâmetros antes determinados pela Tabela 9 agora é feita de acordo com base na Tabela 13, em que a estimação de λ continua a mesma, mas π foi atualizado para corresponder com a equação 13, bem como sua variância também mudou, com o objetivo de contabilizar os efeitos das mudanças em vários fatores causais não controlados.

Tabela 13 - Estimação dos parâmetros e suas variâncias

Estimação dos parâmetros	Estimação das variâncias
$\hat{\lambda} = L$	$VAR(\hat{\lambda}) = L$
$\widehat{r_t} = \widehat{r_c} = \frac{\left(\frac{N}{M}\right)}{\left(1+\frac{1}{M}\right)} \cong \frac{N}{M}$	$\frac{VAR(\widehat{r_t})}{\widehat{r_t}^2} \cong \left(\frac{1}{M}+\frac{1}{N}+VAR(\omega)\right)$
$\hat{\pi} = \widehat{r_t} * K$	$VAR(\hat{\pi}) \cong \hat{\pi}^2 * \left(\frac{1}{K}+\frac{VAR(\widehat{r_t})}{\widehat{r_t}^2}\right)$

Com isso será possível calcular os resultados almejados de $\hat{\delta}$, $VAR(\hat{\delta})$, $\hat{\theta}$ e $VAR(\hat{\theta})$, utilizando períodos antes-depois iguais para cada local a depender da data de intervenção.

Primeiramente, deve-se selecionar os locais de comparação. Para avaliar quantitativamente a adequação de um grupo de comparação, utiliza-se o estimador de ω pela equação a seguir:

$$o = \frac{\frac{K*N}{L*M}}{1+\frac{1}{L}+\frac{1}{M}} \tag{15}$$

Se uma série temporal de contagem de número de acidentes estiver disponível antes da implementação das medidas, esta fórmula é aplicada a cada par antes-depois formando uma sequência de resultados a qual se pode calcular a média de o (m{o}) e sua respetiva variância ($s^2\{o\}$). Se esta média for suficientemente próxima de 1, o grupo de referência candidato é considerado adequado. A variância de ω com base na média do estimador será:

$$VAR(\omega) = s^2\{o\} - \left(\frac{1}{K}+\frac{1}{L}+\frac{1}{M}+\frac{1}{N}\right) \; se > 0, e \; 0 \; caso \; contrário \tag{16}$$

4.3.1. Local 1: Sublanço EN206 – Famalicão (A7), PK 19+000 ao 19+500, Sentido Crescente

Para avaliação inicial de adequação, será considerada toda a extensão da autoestrada A7 a qual o sublanço pertence. Os dados necessários para resolução da equação 15 se encontra na tabela abaixo.

Tabela 14 - Número de acidentes no período anterior à intervenção do local 1

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Estudo	7	9	9	11	12	4
Comparação	80	92	67	78	97	69

Com isso, utiliza-se pares antes-depois para os anos entre 2012 e 2017 gerando em uma sequência de resultados para o valor de o.

Tabela 15 – Resultados da adequação para o local 1

2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017
0,80	0,65	0,86	1,04	1,69

A média dos valores m{o} é 1,01 e a respetiva variância $s^2\{o\}$ é 0,17. Como a média é suficientemente próxima a 1, e o intervalo de confiança inclui o valor 1 mesmo com o valor mais elevado da variância, então se conclui que o local de comparação escolhido é adequado.

A tabela seguinte mostra os valores que K, L, M e N irão assumir para os cálculos a serem realizados utilizando a equação 16, estimativas presentes na Tabela 13 e equações 5 a 8, nesta ordem.

Tabela 16 - Número de acidentes totais no local 1

	Antes	Depois
Estudo	K= 52	L= 3
Comparação	M= 483	N= 368

4.3.2. LOCAL 2: SUBLANÇO GRANJA – MIRAMAR (A29), PK 44+900 AO 45+525, SENTIDO CRESCENTE

Seguindo a mesma lógica que a escolha inicial do local de comparação para o local 1, será utilizada toda a autoestrada A29. Os dados para o cálculo dos estimadores de ω e os resultados se encontram nas tabelas abaixo.

Tabela 17 - Número de acidentes no período anterior à intervenção do local 2

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Estudo	8	15	13	19	16	4
Comparação	60	97	110	102	105	32

Tabela 18 – Resultados da adequação no local 2

2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017
0,80	1,20	0,60	1,14	0,81

A média e a variância são 0,91 e 0,07 respetivamente. Apesar da média não ser tão próxima a 1 quanto o caso anterior, a variância tem um valor menor e consequentemente terá um desvio padrão menor, assim, foi considerado adequado o local de comparação selecionado.

Para os cálculos do método, os números de acidentes assumem os seguintes valores:

Tabela 19 - Número de acidentes totais no local 2

	Antes	**Depois**
Estudo	K= 76	L= 25
Comparação	M= 506	N= 377

4.3.3. LOCAL 3: NÓ DE COIMBRÕES – RAMO E (A44), SENTIDO DECRESCENTE

O local de comparação a ser avaliado para o local 3 é a autoestrada A44 em toda sua extensão, pela suposição de que as mudanças ocorridas são proporcionais.

Tabela 20 - Número de acidentes no período anterior à intervenção do local 3

	2012	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
Estudo	3	4	6	3	4	2	0
Comparação	12	33	27	25	18	20	19

Como não ocorreram acidentes em 2018, foi considerado apenas para cálculo do estimador de ω que houve 1 acidente de modo que o par 2017-2018 pudesse ser contabilizado.

Tabela 21 – Resultados da adequação no local 3

2012-2013	**2013-2014**	**2014-2015**	**2015-2016**	**2016-2017**	**2017-2018**
1,03	0,46	1,35	0,42	1,43	0,93

A média desses valores é de 0,94 e a variância 0,23, sendo então classificado como adequado para as relações que serão realizadas. Pelo mesmo princípio do caso de estudo 2, o local de comparação será utilizado para elaboração dos cálculos, e os números de acidentes está exposto a seguir.

Tabela 22 - Número de acidentes totais no local 3

	Antes	**Depois**
Estudo	K= 21	L= 12
Comparação	M= 154	N= 79

4.3.4. LOCAL 4: NÓ DA PONTE DA PEDRA – RAMO C (A4), SENTIDO DECRESCENTE

Quanto ao local 4, foi selecionada a autoestrada A4 para as análises comparativas.

Tabela 23 - Número de acidentes no período anterior à intervenção do local 4

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Estudo	0	0	0	6	4	0
Comparação	5	10	23	39	30	24

Também de modo a contabilizar os pares de períodos, utilizou-se a contagem de acidentes equivalente a 1 resultando na tabela a seguir.

Tabela 24 – Resultados da adequação no local 4

2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017
0,91	1,10	0,23	0,90	1,57

A média desses valores é de 0,94 e a variância é 0,18. Pela proximidade da média ao valor almejado de 1, considerou-se o local de comparação apropriado.

Tabela 25 - Número de acidentes totais no local 4

	Antes	Depois
Estudo	K= 10	L= 19
Comparação	M= 131	N= 209

4.3.5. LOCAL 5: NÓ DA CREL – RAMO B (A16), SENTIDO CRESCENTE

Neste caso a seleção inicial de um local para comparação foi a autoestrada A16.

Tabela 26 - Número de acidentes no período anterior à intervenção do local 5

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Estudo	6	14	26	8	13	12	22
Comparação	38	42	73	52	58	71	59

Tabela 27 – Resultados da adequação no local 5

2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018
0,43	0,88	2,03	0,63	1,20	0,43

Com isso, a média resultante foi de 0,93 e a variância 0,38. Após análise dos valores foi concluído que o local selecionado pode se enquadrar nos requisitos para comparação.

Tabela 28 - Número de acidentes totais no local 5

	Antes	**Depois**
Estudo	K= 76	L= 69
Comparação	M= 393	N= 256

4.3.6. LOCAL 6: NÓ DE LOUREL – RAMO B (A16), SENTIDO CRESCENTE

Também por estar integrado na autoestrada A16, será realizada uma análise de adequação ao local em estudo de forma idêntica ao local 5.

Tabela 29 - Número de acidentes no período anterior à intervenção do local 6

	2012	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
Estudo	5	6	8	2	3	13	5
Comparação	38	42	73	52	58	71	59

Tabela 30 – Resultados da adequação no local 6

2012-2013	**2013-2014**	**2014-2015**	**2015-2016**	**2016-2017**	**2017-2018**
0,77	1,13	1,88	0,55	0,26	1,78

A média dos valores obtidos na tabela acima é de 1,06 com uma variância de 0,39. Optou-se por manter o local selecionado para realização dos cálculos do método devido a proximidade suficiente da média ao valor de 1, e para se avaliar os efeitos da utilização de um mesmo local de comparação para locais de estudo diferentes.

Tabela 31 - Número de acidentes totais no local 6

	Antes	**Depois**
Estudo	K= 42	L= 18
Comparação	M= 393	N= 256

4.3.7. SÍNTESE

Com todos os valores de K, L, M e N definidos pela escolha dos locais de comparação e recolha de valores na base de dados da Ascendi, pode-se prosseguir com a metodologia que, como referido no subcapítulo 4.3.1., utiliza a equação 16, as estimativas presentes na Tabela 13 e as equações 5 a 8, nesta ordem. Na tabela a seguir se encontra a síntese dos cálculos mencionados para todos os locais de estudo.

Tabela 32 - Síntese dos cálculos do método de comparação

	Local 1	Local 2	Local 3	Local 4	Local 5	Local 6
$VAR(\omega)$	0	0,012	0,065	0,015	0,346	0,304
$\hat{\lambda}$	3	25	12	19	69	18
$\widehat{r_c}$	0,76	0,74	0,51	1,58	0,65	0,65
$\hat{\pi}$	39,54	56,51	10,70	15,83	49,38	27,29
$VAR(\hat{\lambda})$	3	25	12	19	69	18
$VAR(\hat{\pi})$	37,55	95,81	16,80	31,93	891,27	249,06
$\hat{\delta}$	36,54	31,51	-1,30	-3,17	-19,62	9,29
$\hat{\theta}$	0,07	0,43	0,98	1,06	1,02	0,49
$\sigma(\hat{\delta})$	6,37	10,99	5,37	7,14	30,99	16,34
$\sigma(\hat{\theta})$	0,04	0,11	0,47	0,45	0,63	0,31

4.4. ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS (ARIMA)

Adicionalmente aos métodos tradicionais de estudos antes-depois, considerou-se ainda a aplicação de um método estatístico que contribui para a comparação dos resultados dos vários métodos e assim, aumentar a confiança nos resultados. Este método tem sido aplicado na avaliação de medidas de mitigação dos acidentes nomeadamente na avaliação do efeito dos equipamentos de fiscalização da velocidade (também designado de radares) [12].

Em estatística, um modelo auto-regressivo integrado de médias móveis (tradução da designação em inglês *autoregressive integrated moving average* – ARIMA) é ajustado aos dados de uma série temporal de modo a identificar padrões na sequência de números ao longo do tempo, que são correlacionados entre si, mas deslocados no tempo, e também prever padrões futuros.

Essa análise é usada quando as observações são feitas repetidamente ao longo de 50 ou mais períodos de tempo [12], o que é caso dos locais em estudo e, portanto, pode ser aplicada para testar o impacto das intervenções já que isso configura um dos objetivos da análise.

Apesar de ser um modelo com poucas variáveis é muito complexo e exige um nível de conhecimento estatístico elevado para definir os parâmetros requeridos (p,d,q) que serão utilizados. Assim, foi utilizado o software SPSS que permite a seleção de um modo *expert modeler* que realiza o ajuste automaticamente conforme os dados introduzidos.

Estes dados são os números de acidentes ocorridos em cada período de tempo observado e a indicação de quais períodos estavam sob influência da intervenção por meio da utilização dos operadores lógicos 0 e 1 como falso e verdadeiro para representar a existência ou não da intervenção naquele período.

As imagens abaixo elucidam o passo a passo para a realização do processo necessário até a obtenção dos resultados. Partindo como exemplo os dados do local 1, seleciona-se a aba de análise (*analyze*), previsão (*forecasting*) e criação de modelos tradicionais (*create traditional models*).

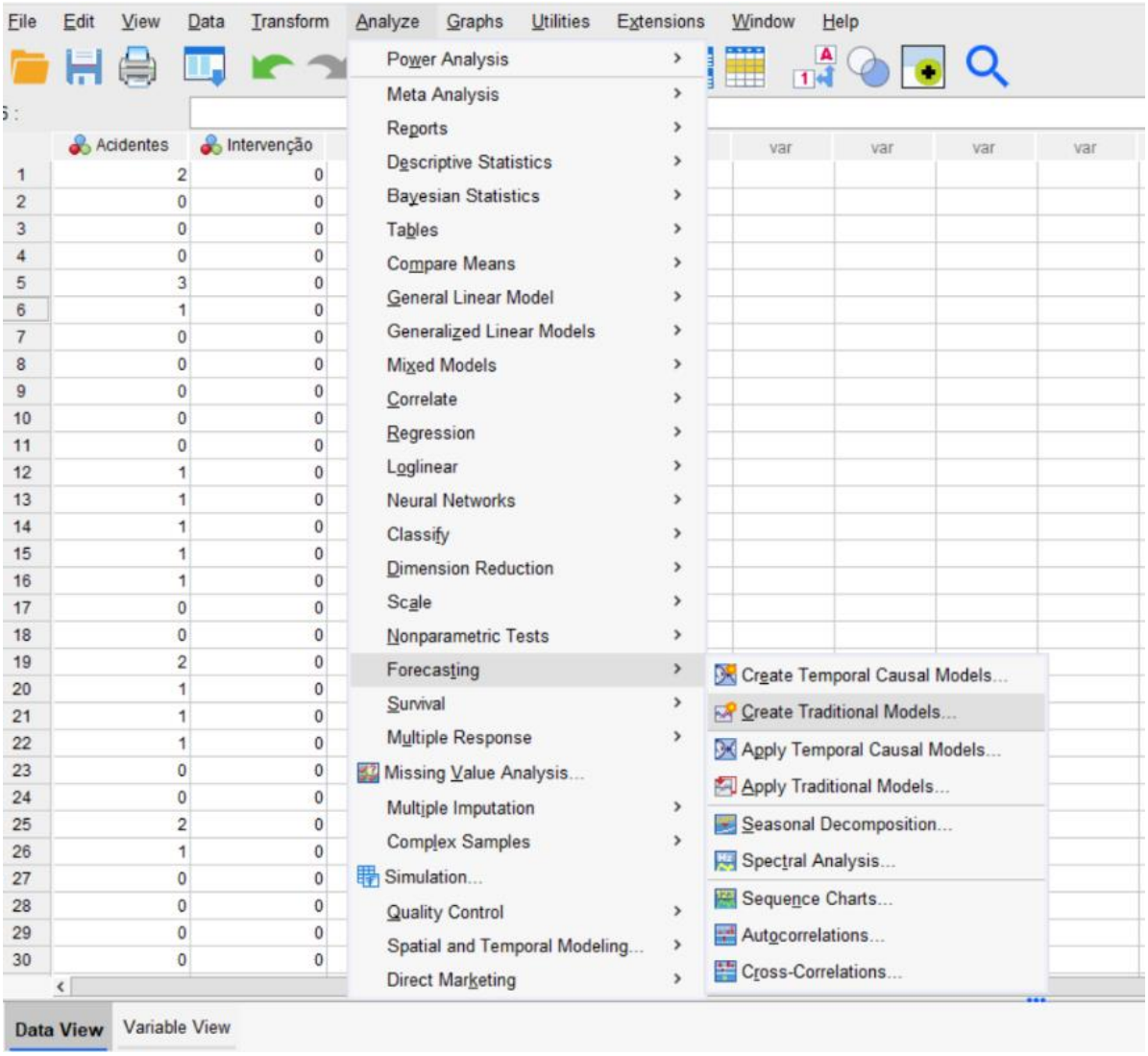


Figura 25 - Passo 1 ARIMA (Fonte: SPSS)

Em seguida, faz-se a classificação da variável do número de acidentes como dependente e a de intervenção como independente, a seleção do método como *expert* e depois a escolha dos critérios (*criteria*) para definição do modelo como ARIMA e seleção da intervenção como o evento para avaliação de seus efeitos, de acordo com os passos 2 e 3,

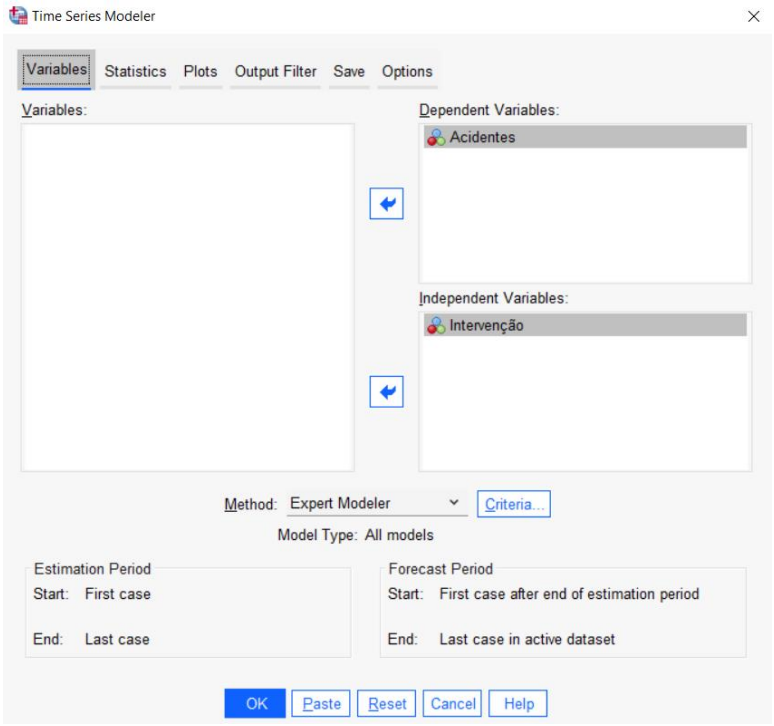


Figura 26 - Passo 2 ARIMA (Fonte: SPSS)

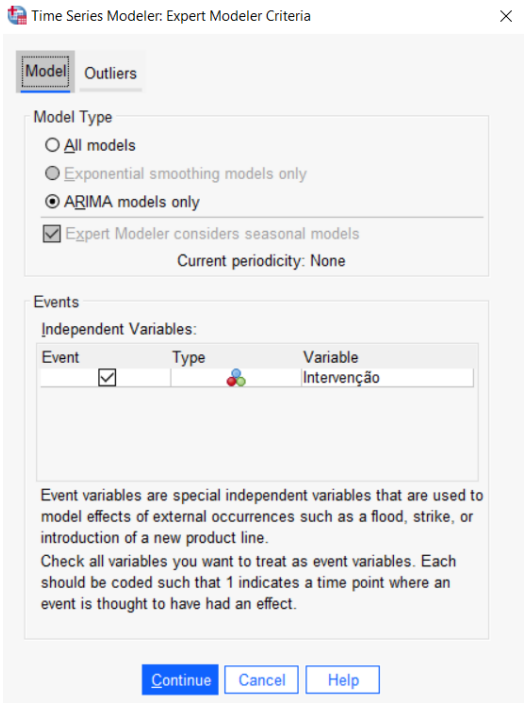


Figura 27 - Passo 3 ARIMA (Fonte: SPSS)

Em seguida, é preciso definir na aba de estatísticas quais serão os *outputs* desejados, como por exemplo as medidas de ajuste ao modelo (*R square*) em que mais próximo de 1 melhor a qualidade do ajuste, as estimativas dos parâmetros e suas significâncias, e por fim na aba de *plots* quais os gráficos pretendidos a serem retornados pelo software.

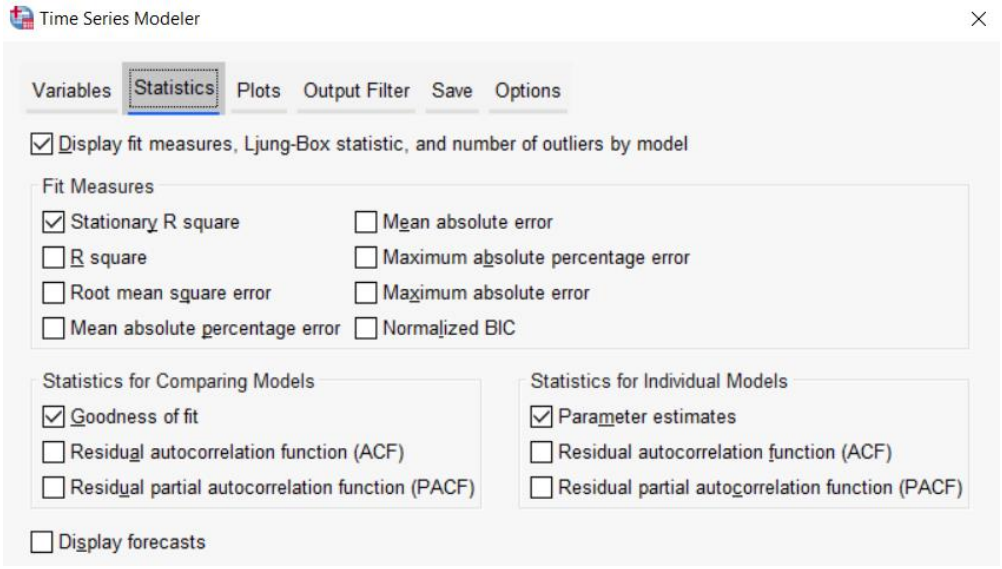


Figura 28 - Passo 4 ARIMA (Fonte: SPSS)

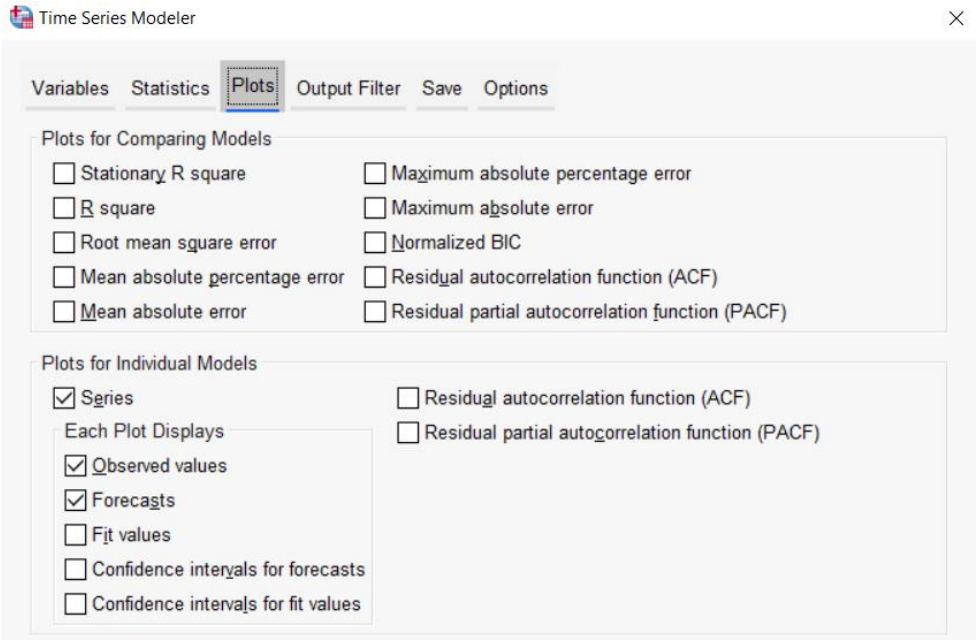


Figura 29 - Passo 5 ARIMA (Fonte: SPSS)

5.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. ESTUDOS ANTES-DEPOIS

Dos estudos que utilizam a metodologia de observação antes-depois, foram escolhidos dois métodos para interpretação e comparação de seus resultados: o primeiro sendo o mais simples que relaciona diretamente os acidentes nos dois períodos, e o outro que utiliza um local ou grupo de comparação para isso.

A principal diferença matemática entre eles é a forma de se obter a previsão de qual seria a frequência de acidentes caso nenhuma intervenção tivesse sido realizada no local (π). Com isso, os valores pretendidos de δ e θ são alterados pois dependem diretamente de π.

Após aplicação dos métodos antes-depois que foram descritos no capítulo anterior, foi possível chegar aos resultados de todos os parâmetros que se encontram nas duas tabelas abaixo.

Tabela 33 - Resultados do método simples

ESTUDO OBSERVACIONAL SIMPLES						
Parâmetro	**Local 1**	**Local 2**	**Local 3**	**Local 4**	**Local 5**	**Local 6**
$\hat{\lambda}$	3	25	12	19	69	18
$VAR(\hat{\lambda})$	3	25	12	19	69	18
$\hat{\pi}$	41,7	76	13,9	8,8	67,1	26,1
$VAR(\hat{\pi})$	33,5	76	9,2	7,8	59,2	16,2
$\hat{\delta}$	38,7	51	1,9	-10,2	-1,9	8,1
$VAR(\hat{\delta})$	36,5	101	21,2	26,8	128,2	34,2
$\sigma(\hat{\delta})$	6,04	10,05	4,61	5,18	11,32	5,84
$\hat{\theta}$	0,071	0,325	0,824	1,958	1,016	0,675
$VAR(\hat{\theta})$	0,002	0,005	0,081	0,483	0,028	0,034
$\sigma(\hat{\theta})$	0,041	0,074	0,284	0,695	0,167	0,186

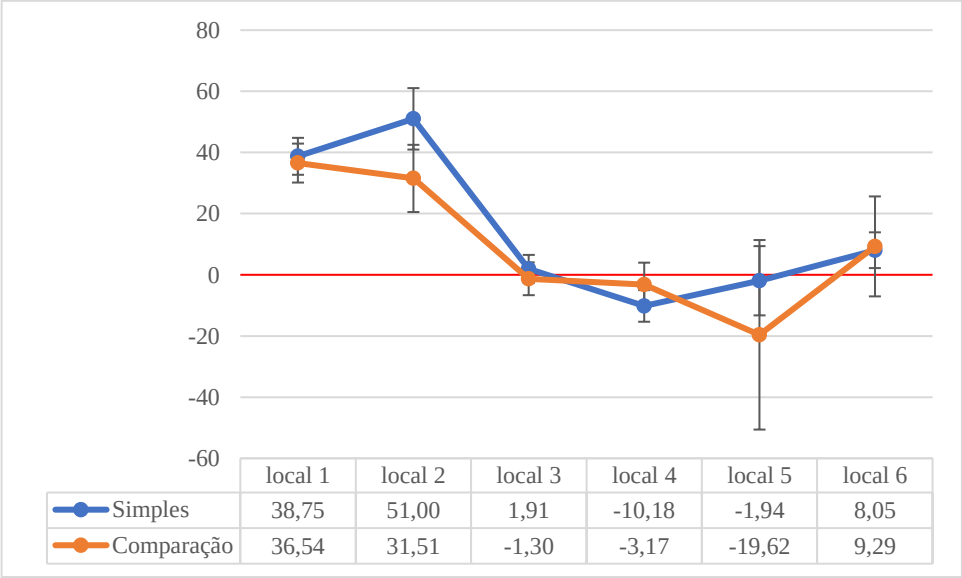
Tabela 34 - Resultados do método por comparação

ESTUDO OBSERVACIONAL POR COMPARAÇÃO						
Parâmetro	**Local 1**	**Local 2**	**Local 3**	**Local 4**	**Local 5**	**Local 6**
$\hat{\lambda}$	3	25	12	19	69	18
$VAR(\hat{\lambda})$	3	25	12	19	69	18
$\hat{\pi}$	39,54	56,51	10,70	15,83	49,38	27,29
$VAR(\hat{\pi})$	37,55	95,81	16,80	31,93	891,27	249,06
$\hat{\delta}$	36,54	31,51	-1,30	-3,17	-19,62	9,29
$VAR(\hat{\delta})$	40,55	120,81	28,80	50,93	960,27	267,06
$\sigma(\hat{\delta})$	6,37	10,99	5,37	7,14	30,99	16,34
$\hat{\theta}$	0,074	0,429	0,978	1,064	1,023	0,494
$VAR(\hat{\theta})$	0,002	0,013	0,220	0,204	0,398	0,095
$\sigma(\hat{\theta})$	0,044	0,114	0,469	0,452	0,631	0,309

Para verificação da efetividade das medidas que foram implementadas nos seis locais em estudo, dois parâmetros são avaliados: δ traduz a redução de acidentes esperados no período 'depois', e θ que é um índice que pode ser escrito em percentagem para verificar a efetividade das intervenções.

O gráfico abaixo ilustra os resultados de δ tanto para o método simples (laranja) quanto para o método de comparação (azul). Sendo valores estimados, também foram introduzidos os respetivos desvios padrões que mostram a dispersão dos resultados, gerando um intervalo de confiança para o valor real. Quanto menor for o desvio padrão, mais preciso o resultado obtido.

Gráfico 13 - Resultados de δ



· Local 1: Ambos os métodos obtiveram resultados muito próximos entre si, com uma diferença de apenas 2,21 acidentes. Sendo valores positivos, significa que houve eficácia nas medidas implementadas descritas no capítulo 3, com uma redução média de 37,6 acidentes no período "depois" de quase 5 anos após a intervenção. Isso quer dizer que o decréscimo foi de aproximadamente 7,91 ≅ 8 acidentes por ano, e como a dispersão pode ser considerada baixa, a fiabilidade é considerável.

· Local 2: Há uma discrepância de valores entre os métodos de 19,49 acidentes, o que é bem considerável. Uma certeza é de que houve redução nos acidentes comparado com o período anterior, mas a precisão da quantificação dessa redução é algo que não foi obtido por meio da utilização dos dois métodos. É possível que um deles esteja correto, mas não se pode definir qual.

Uma possibilidade para se ter obtido este resultado no método de comparação é que o local de comparação escolhido não seja o mais apropriado e isso tenha afetado o resultado. Logo, o valor de 0,91 de *o* pode não ser considerado suficientemente próximo de 1 e seja necessário realizar outra análise baseada por exemplo noutro local de comparação.

A conclusão que se pode tirar do gráfico e dos valores dos desvios é que o valor almejado se encontra entre o intervalo aproximado de 20 e 60 acidentes.

· Local 3: Este caso é particular, porque apesar da diferença entre os resultados dos dois métodos ter sido de apenas 0,61, cada método aponta no sentido contrário, isto é, no método simples verifica-se uma diminuição no número de acidentes de 1,91 e no método por comparação verifica-se um aumento de 1,31 acidentes.

Esses valores refletidos no período 'depois' significam que houve uma diminuição de 0,46 e um aumento de 0,31 acidentes por ano. Portanto, podem ser considerados próximos o bastante de 0 para se concluir que as medidas realizadas no local 3 não surtiram resultados, nem positivos e nem negativos, ou seja, a frequência anterior de acidentes continuou aproximadamente igual.

· Local 4: Por meio dos resultados negativos se conclui que houve um aumento no número de acidentes, porém como o desvio padrão do método por comparação valores um pouco acima do eixo X, existe a possibilidade de na realidade as intervenções não terem tido efeito algum, ou terem causado apenas uma leve redução no número de acidentes.

O mais provável, segundo parecem indicar os parâmetros, é que houve aumento no número de acidentes, mas a magnitude do efeito não foi acentuada.

· Local 5: Visualmente, destaca-se notavelmente o intervalo do desvio padrão do método comparativo, possuindo uma dispersão maior no resultado do que o método simples. Semelhante ao caso anterior, o intervalo do desvio padrão abrange o valor de zero e alguns valores acima de zero, sendo por isso, possível a intervenção não ter surtido efeito ou o efeito ter sido levemente positivo.

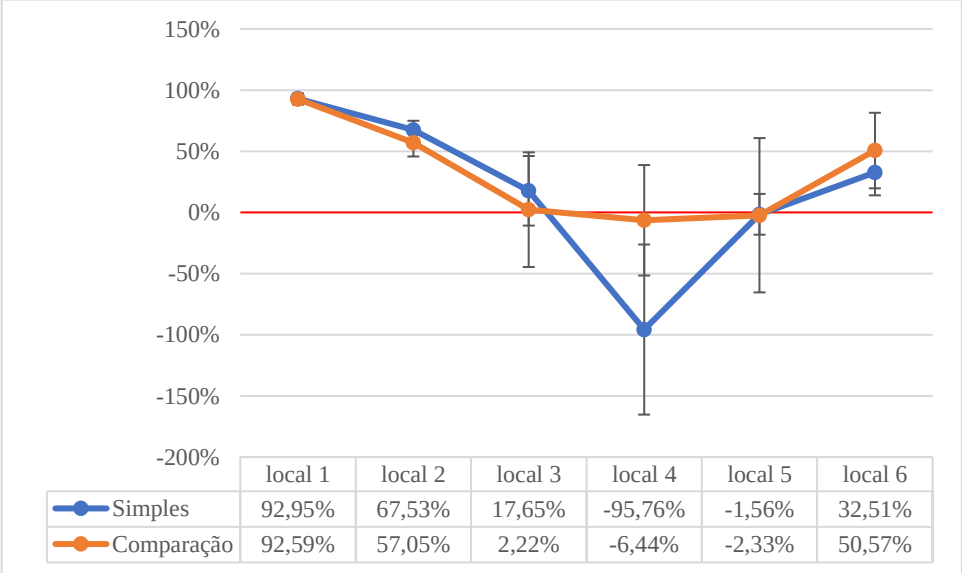
De qualquer forma, como ambos os resultados de δ são negativos isso implica que houve um aumento na frequência de acidentes, apesar do aumento ocorrido no segundo método ter sido mais exacerbado. Para aumentar a confiança nestes resultados, é possível recorrer a outro local de comparação cujo valor de *o* seja mais próximo ainda de 1 e com uma variância menor.

· Local 6: Com uma diferença de apenas 1,24, ambos os métodos aplicados corroboram os resultados um do outro com uma redução média de 8,67 de acidentes no período 'depois', ou de 2,17 acidentes por ano após a intervenção. Pode-se concluir que é um resultado fiável já que dois métodos distintos apresentam valores muito próximos.

A questão do intervalo do desvio padrão mostra que existe sim a possibilidade de a efetividade ter sido nula ou negativa, contudo é mais provável que a intervenção tenha sido efetiva mesmo que parcamente.

De modo a complementar as conclusões sobre a eficácia e sua quantificação acerca das intervenções nos casos de estudo, abaixo apresenta-se o gráfico de θ.

Gráfico 14 - Resultados de θ



	local 1	local 2	local 3	local 4	local 5	local 6
Simples	92,95%	67,53%	17,65%	-95,76%	-1,56%	32,51%
Comparação	92,59%	57,05%	2,22%	-6,44%	-2,33%	50,57%

Visualmente se nota uma semelhança nos resultados dos locais 1, 2, 3, 5 e 6 para ambos os métodos aplicados. A realização de dois processos diferentes que sucedem em um mesmo resultado expressa maior fiabilidade ao estudo.

· Local 1: Claramente se nota que a redução no número de acidentes foi significativa e de aproximadamente 92% em relação ao período anterior. As medidas de redução de risco foram eficazmente implementadas e bem-sucedidas.

· Local 2: Também houve uma redução, que apesar de ser menor numericamente, demonstra a efetividade das medidas com uma diminuição entre 57% e 67% na frequência de acidentes.

· Local 3: Ambos os valores traduzem uma redução no número de acidentes, porém se nota uma diferença de mais de 15% entre eles com um intervalo de desvio padrão que reduz a certeza do resultado e corrobora com o que se foi concluído com base no valor de δ, onde é mais provável que as medidas não tenham sucedido efeitos.

· Local 4: Este caso se apresenta de forma bem distinta dos outros, a diferença entre os resultados dos métodos é bastante considerável e isso implica na incerteza da análise. Não só existe uma diferença de quase 90% nos valores, como também o desvio padrão abrange o número zero e os números positivos, ou seja, possui caráter inconclusivo. É possível realizar nova análise com diferentes locais de comparação até encontrar algum cujo valor de *o* seja 1, para então verificar se a escolha do local é que foi causadora da diferença entre os resultados. Pode-se também utilizar outros métodos mais complexos como os citados no capítulo 2, de modo a auxiliar na análise da situação a qual o local 4 se encontra em termos de evolução do número de acidentes pós intervenção.

· Local 5: Os resultados indicam um leve aumento de 1,56% e 2,33% na frequência de acidentes, como mencionado anteriormente. Por estar próximo do valor 0, existe a probabilidade de a efetividade ter sido nula também. Mais uma vez, as incertezas estatísticas interferem nas conclusões analíticas.

· Local 6: A efetividade da intervenção é notável, com uma redução entre 32% e 50% no número de acidentes rodoviários ocorridos no local 6.

O método antes-depois simples não consegue diferenciar se o aumento ou redução no número de acidentes foi devido a implementação de medidas de mitigação ou devido a outros fatores como clima, tráfego, comportamento dos condutores, entre outros. É necessário referir que o resultado então é parcialmente atribuído às medidas, mas não se consegue fazer a quantificação.

Como forma de melhorar isso, o método de comparação assume que locais semelhantes e sob influência das mesmas condições tendem a possuir uma frequência de acidentes que evolui na mesma proporção. Assim, contabiliza-se fatores exógenos desconhecidos por meio da utilização da razão de comparação.

A melhoria alcançada com este método que consegue contabilizar os fatores externos por meio da comparação, possui a adversidade de ter uma variância maior e consequentemente um desvio padrão maior, o que estatisticamente é desvantajoso para a certeza dos resultados, como comprovado pelas análises realizadas acima.

De modo a aumentar a credibilidade do método e diminuir as incertezas, faz-se necessário o uso de um local de comparação apropriado. No capítulo 4, foram escolhidos locais de comparação com base no valor de *o*, que deveria ser o mais próximo possível de 1, senão a significância estatística é afetada.

Não existe outra maneira de selecionar o local de comparação sem ter de analisar todos os dados de acidentes disponíveis e repetidas vezes para locais diferentes, o que pode tornar este método dispendioso em termos de tempo. Se, em uma situação ideal, fosse escolhido um local perfeitamente adequado, os resultados obtidos a partir de então poderiam ser considerados bastante fiáveis.

No presente estudo, concluiu-se que os locais eram adequados e, portanto, os resultados do método de comparação são mais confiáveis que o do método simples. Nota-se que os dois locais mais precisos foram justamente os que tiveram valor de *o* mais próximo de 1, e os resultados do método simples corroboraram com essa precisão. Para os outros casos, é provável que outro grupo de comparação gerasse mais confiança no método e menor dispersão.

É importante ressaltar a necessidade da prudência ao descartar uma metodologia em prol de outra sem considerar todas as vantagens e desvantagens associadas a cada um. O processo de decisão da metodologia a ser seguida deve ser feita visando a melhor previsão de π que influência todos os outros parâmetros. Para isso, é preciso aplicar diferentes métodos para uma mesma amostra de dados para verificar qual deles é o mais adequado, porque o registo de acidentes rodoviários está sujeito a aleatoriedade, incertezas e imprecisões.

5.2. ANÁLISES TEMPORAIS

Por seguir uma metodologia diferente da observacional antes-depois, optou-se por separar os resultados dos métodos anteriores para o método estatístico baseado na análise temporal da frequência dos acidentes.

Após introdução dos dados dos locais mês a mês desde 2012, como ilustrado nos gráficos do capítulo 3, e indicado a partir de qual mês os acidentes passaram a sofrer influência das implementações das medidas de mitigação de acidentes, o método, através do uso do software SPSS proporcionou as informações necessária para as análises.

Os resultados pretendidos foram os de ajuste ao modelo para verificar se foi possível obter qualidade na modelação, e os parâmetros estimados do efeito das medidas, cujo valor negativo significa diminuição no número de acidentes, e valor positivo significa o aumento, além do desvio padrão associado e respetiva significância estatística. Na tabela estão compilados os resultados para os locais em estudo.

Tabela 35 - Resultados ARIMA

	Local 1	Local 2	Local 3	Local 4	Local 5	Local 6
Ajuste do Modelo (R^2)	0,188	0,16	0,068	0,074	0,081	0,023
Estimação dos parâmetros (p,q,d)	(0,0,2)	(1,0,0)	(0,0,0)	(1,0,0)	(0,0,1)	(0,0,0)
Impacto da intervenção	-0,665	-0,796	-	-	-	-
Desvio padrão	0,167	0,220	-	-	-	-
Significância estatística	0	0	-	-	-	-

Ao analisar os valores de R^2, nota-se que estão muito distantes de 1, que é o valor ideal de um modelo perfeitamente ajustado linearmente. Isso demonstra que a eficácia da variável independente (intervenção) na explicação da variável dependente (número de acidentes) não possui evolução linear, o que ilustra a aleatoriedade inerente a ocorrência de acidentes.

Os parâmetros do modelo (p,d,q) foram calculados automaticamente de acordo com os dados através da ferramenta *expert modeler* do software. Eventualmente uma modelação mais complexa poderá gerar resultados mais ajustados, possibilitando uma avaliação mais precisa das mudanças nas frequências de acidentes.

De acordo com os resultados do modelo apresentados na Tabela 35, o impacto da intervenção no local 1 foi de uma redução no número de acidentes em 33,5% e no local 2 uma redução de 20,4%. Comparando com os resultados dos métodos antes-depois, apesar de todos os métodos concluírem que as medidas foram efetivas, se nota uma grande discrepância na percentagem de redução, que pode estar associada justamente ao fato dos parâmetros de ajuste terem sido realizados automaticamente e a possibilidade desse ajuste não corresponder ao necessário, ou pela necessidade de uma amostra maior, ou pela calibração das configurações dos parâmetros do modelo.

Os outros locais não retornaram resultados com significância estatística suficiente para se concluir que as intervenções produziram impactos na frequência de acidentes.

6.
CONCLUSÕES

O processo de intervenção em locais críticos com vista à melhoria da segurança rodoviária incide nas fases de identificação e caracterização de um local com sinistralidade elevada, implementação de medidas para mitigação desses acidentes e por fim, análise do impacto dessas medidas no número de acidentes. Esta última fase é realizada continuamente no tempo para controlo de conformidade com as metas inicialmente definidas.

Normalmente a quantificação das metas provém dos planos de ações de segurança rodoviária, com a indicação da redução esperada no número de acidentes para as autoestradas em questão para um determinado período. A importância da monitorização não reside somente nesta verificação, mas também pode servir como fundamentação para próximas intervenções e processos de decisão.

No caso em estudo, a concessionária Ascendi realiza o acompanhamento da segurança em suas autoestradas utilizando os dados da contagem de acidentes e comparando com a situação anterior à intervenção.

Como visto pelo estudo realizado, essa suposição não caracteriza os efeitos diretos das medidas, e sim o efeito combinado de todos os fatores influentes como clima, tráfego, entre outros. Conhecer a eficácia das medidas tem uma importância que vai além do efeito em si, permite criação de uma base de dados que conforme for ganhando robustez, irá melhorar o processo de decisão pela fundamentação em fatos.

Para uma análise exploratória dos métodos de avaliação das intervenções, seis locais foram selecionados, para que fosse possível avaliar os efeitos que as medidas tiveram e fazer a comparação com os resultados obtidos por mais do que um método. Os métodos escolhidos para o presente estudo foram: estudo antes-depois simples e estudo antes-depois por comparação. Acresce ainda a aplicação de um método estatístico de análise de séries temporais que sendo uma metodologia completamente distinta permite ainda comparar os resultados com os dos métodos anteriores.

Nesta análise exploratória optou-se por escolher dois estudos antes-depois que não fossem demasiado exigentes nos dados requeridos bem como no nível de dificuldade de aplicação dos mesmos, garantindo assim a futura aplicabilidade no contexto da empresa.

Concluir qual metodologia é mais eficiente depende dos dados existentes e do grau de precisão pretendido. Os métodos mais complexos fornecem resultados mais precisos, porém dependem de mais variáveis, conhecimentos estatísticos aprofundados e maior tempo para as análises.

Devido a isso, considera-se fundamental a análise da variância dos resultados, uma vez que intervenções que acarretem uma pequena redução média e tenham elevada variância podem comprometer a certeza em relação às conclusões obtidas.

Assim, como visto nos resultados do capítulo anterior, os parâmetros de dispersão foram calculados para a ampliação do conhecimento sobre a (in)certeza inerente aos resultados obtidos. Ressalta-se ainda que o método por grupo de comparação possui uma variância inerente maior em virtude da incerteza em relação à seleção do local de comparação.

A expectativa relativamente à precisão dos resultados deve ser realista já que é um trabalho realizado em contexto real e não é possível controlar todos os fatores externos que possam interferir nos resultados. Portanto, os padrões de confirmação ou refutação que se aplicam na física ou na química em contexto laboratorial não são alcançáveis.

No caso dos seis estudos analisados, a efetividade do conjunto de medidas implementadas se encontra sumarizada no quadro abaixo.

Tabela 36 - Impacto das intervenções nos locais

	Simples	Comparação
Local 1	↓ 92,95%	↓ 92,59%
Local 2	↓ 67,53%	↓ 57,05%
Local 3	↓ 17,65%	↓ 2,22%
Local 4	↑ 95,76%	↑ 6,44%
Local 5	↑ 1,56%	↑ 2,23%
Local 6	↓ 32,51%	↓ 50,57%

Apesar das variações já explicadas anteriormente, nota-se que os locais 4 e 5 indicam que houve um aumento no número de acidentes após as intervenções e os restantes indicam uma redução.

O método simples engloba todos os fatores que influenciam a ocorrência de acidentes, e o de comparação permite contabilizar mais eficazmente a influência das medidas de mitigação e, portanto, é mais próximo à realidade, desde que o local de comparação seja o mais adequado possível.

Quanto à análise por séries temporais, só foi possível concluir para os locais 1 e 2 que as intervenções foram efetivas. De facto, a Tabela 36 mostra que estes mesmos locais são aqueles que apresentaram resultados mais evidentes da efetividade das intervenções segundo os métodos antes-depois aplicados.

Pode-se concluir que a utilização de metodologias que avaliam a efetividade das medidas de mitigação de acidentes possuem caráter promissor. Este estudo apresentou os princípios dos procedimentos que fazem essa avaliação, cujos resultados são considerados mais fiáveis do que a análise direta antes-depois normalmente utilizada.

Perspetivas futuras

Além do cálculo do efeito das medidas para cada local através da análise da frequência de acidentes nos períodos antes e depois, é ainda fundamental calcular as respetivas variâncias. A existência de uma variabilidade evidencia que uma mesma medida pode ser mais efetiva para determinados locais do que para outros, e por isso, a necessidade da elaboração de mais estudos que possam auxiliar nas conclusões.

A continuação deste tipo de estudos em mais locais com medidas semelhantes será uma contribuição relevante para a gestão da segurança rodoviária, pois permite avaliar se uma mesma medida é eficiente em diferentes contextos que podem ser classificados de diferentes modos nomeadamente pelas suas características operacionais e da sua envolvente.

É importante ressaltar que neste estudo foram considerados seis locais cujo efeito foi resultante da combinação de várias medidas, logo não foi possível concluir a contribuição de cada medida isoladamente para a redução/aumento no número de acidentes. De facto, quando há uma intervenção num determinado local em geral esta compreende um conjunto de várias medidas que podem considerar por exemplo, sinalização e pavimento, sendo por isso, difícil isolar o efeito das mesmas.

Por outro lado, será ainda interessante analisar o efeito das medidas em diferentes tipos de acidentes quer em termos de gravidade quer pela sua natureza. Em suma, a análise exploratória deste trabalho permitiu concluir que vale a pena investir na aplicação de métodos mais robustos ainda que de simples aplicação sendo, contudo, necessário garantir uma base de dados constante no tempo de forma a monitorizar a evolução dos acidentes.

Assim, sugere-se primeiramente a criação desta base de dados a partir das informações de sinistralidade, descrição das medidas implementadas e datas de intervenção. Será possível desenvolver uma planilha de cálculo automática para o método simples segundo as equações 5 a 9 e tabela 9, e para o método por comparação utilizando as equações 5 a 8, 15 e 16 e a tabela 13, conforme exemplo a seguir.

Tabela 37 - Protótipo de folha de cálculo para o método de comparação

	A	B	C	D
1	**INPUT**			**FÓRMULA**
2		Estudo	Comparação	
3	Antes	52	483	(dados de sinistralidade)
4	Depois	3	368	(dados de sinistralidade)
5	o	0,91	equação 15	(depende da amostra)
6	$s^2\{o\}$	0,17	-	DESVPAD.S
7	$VAR(\omega)$	0	equação 16	B6-(1/B3+1/B4+1/C3+1/C4), se >0 ou 0 senão
8	**OUTPUT**			
9	$\hat{\lambda}$	3	tabela 13	B4
10	$\hat{r_c}$	0,76	tabela 13	(C4/C3)/(1+1/C3)
11	$\hat{\pi}$	39,54	tabela 13	B3*B10
12	$VAR(\hat{\lambda})$	3,00	tabela 13	C10
13	$VAR(\hat{\pi})$	37,55	tabela 13	B11^2*(1/B3+1/C3+1/C4+B7)
14	$\hat{\delta}$	36,54	equação 5	B11-B9
15	$\sigma(\hat{\delta})$	6,37	equação 6	RAIZQ(B12+B13)
16	$\hat{\theta}$	0,07	equação 7	(B9/B11)/(1+B13/B11^2)
17	$\sigma(\hat{\theta})$	0,04	equação 8	B16*(RAIZQ(B12/B9^2+B13/B11^2))

No caso do protótipo de cálculo sugerido para o método de comparação foram utilizados os dados do local 1 como exemplo, sendo que os dados iniciais necessários são os de frequência de acidentes para os períodos "antes" e "depois" do local em estudo e do possível local de comparação, retirados da base de dados a ser criada.

A adequabilidade do local de comparação resulta do valor de *o* e sua proximidade ao número 1, portanto como depende da escolha da amostra, pode ser necessário repetir o cálculo mais de uma vez até encontrar um local adequado.

Todos os outros parâmetros são calculados diretamente em sequência, o que torna o método simples de ser aplicado seguindo os passos descritos no capítulo 4, desde estejam disponíveis os dados necessários.

Sugere-se também a complementação da base de dados com outras informações que possam contribuir para o entendimento de como os fatores externos às medidas afetam a ocorrência de acidentes, como por exemplo informações sobre o tráfego em plena via e nos ramos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] S. Raicu, D. Costescu, e S. Burciu, "The evaluation of road safety performances in urban areas", *WIT Transactions on the Built Environment*, vol. 138, p. 447–458, 2014, doi: 10.2495/UT140371.

[2] E. Nabais, "Avaliação da Segurança Rodoviária: Proposta de Abordagem Metodológica", Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2009.

[3] Á. Seco, S. Ferreira, A. Silva, e A. Costa, "Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária", *Segurança Rodoviária*, vol. 11. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, Porto, p. 1–31, dezembro de 2018.

[4] F. Wegman, "Sustainable Road Safety", Hague, mar. 2019.

[5] World Road Association (PIARC), *Road Safety Manual*, 1º ed. Paris: Route Market, 2003.

[6] F. Gross, B. Persaud, e C. Lyon, "A Guide to Developing Quality Crash Modification Factors", Washington DC, dez. 2010.

[7] R. Elvik, "The importance of confounding in observational before-and-after studies of road safety measures", *Accid Anal Prev*, vol. 34, nº 5, p. 631–635, set. 2002, doi: 10.1016/S0001-4575(01)00062-8.

[8] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), "Highway Safety Manual", vol. 1. Washington DC, 2010.

[9] E. Hauer, *Observational Before-After Studies in Road Safety. Estimating the Effect of Highway and Traffic Engineering Measures on Road Safety*, 1º ed. Oxford, UK: Pergamon Press, 1997.

[10] A. Vogt e J. Bared, "Accident Models for Two-Lane Rural Segments and Intersections", *https://doi.org/10.3141/1635-03*, nº 1635, p. 18–29, jan. 1998, doi: 10.3141/1635-03.

[11] F. Gross e E. T. Donnell, "Case–control and cross-sectional methods for estimating crash modification factors: Comparisons from roadway lighting and lane and shoulder width safety effect studies", *J Safety Res*, vol. 42, nº 2, p. 117–129, abr. 2011, doi: 10.1016/J.JSR.2011.03.003.

[12] B. Tabachnick e L. Fidell, "Time-Series Analysis", em *Using Multivariate Statistics*, 6º ed, Boston: Pearson, 2013, p. 1–65.

[13] J. Chelule, M. K. Ngetich, A. Anapapa, e H. Imboga, "Time Series Analysis of Road Accidents Using Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) Model", 2019.

ANEXOS

ANEXO I

Compilação dos relatórios realizados na Ascendi

Estudos para Redução de Sinistralidade 2017-2022

Concessão	Relatório de estudo	Autoestrada	Sublanço	Nó	Ramo	PK inicial	PK final	Sentido	Ano de estudo	Data de Implementação
Norte	CN13-18	A7	EN206 / Famalicão	-	-	19000	19150	C	2017	28/11/2017
Norte	CN23	A7	Selho / Guimarães Sul	Selho	B	-	-	C	2017	28/11/2017
Norte		A7	Selho / Guimarães Sul	Selho	C	-	-	C	2017	28/11/2017
Norte	Nº 1118	A7	Famalicão / A3-A7	-	-	20216	21523	C	2018	21/12/2018
Norte		A7	A3-A7 / Seide	-	-	21523	25805	C	2018	21/12/2018
Norte	Nº 1119	A7	Póvoa de Varzim / Ligação a EN206	-	-	0	2925	C	2018	28/02/2019
Norte		A7	Póvoa de Varzim / Ligação a EN206	-	-	0	2925	D	2018	08/05/2019
Norte		A7	Ligação a EN206 / EN206	-	-	0	2925	C	2018	16/07/2019
Norte		A7	Ligação a EN206 / EN206	-	-	0	2925	D	2018	23/09/2019
Norte		A7	EN206 / Famalicão	-	-	0	2925	C	2018	01/12/2019
Norte		A7	EN206 / Famalicão	-	-	0	2925	D	2018	08/02/2020
Norte	20117-ES-L01-IRV-RPT-001-0	A7	Seide / Ave	-	-	33000	33313	C	2020	mar/2018
Norte		A7	Ave / Selho	-	-	33313	34000	C	2020	mar/2018
Norte	20117-ES-L01-IRV-RPT-002-0	A7	Seide / Ave	-	-	33313	33000	D	2020	mar/2022
Norte		A7	Ave / Selho	-	-	33500	33313	D	2020	mar/2022
Norte	Lote 1 - Fafe Sul Basto	A7	Fafe Sul / Basto	-	-	63400	56400	D	2022	Em processo
Norte	RT_A7_No de Calvos	A7	Calvos / Vizela	Calvo	B	-	-	D	2022	Em processo
Norte		A7	Calvos / Vizela	Calvo	C	-	-	D	2022	Em processo

Costa de Prata	CP3	A25	Angeja Poente / Angeja	-	-	21650	21200	D	2017	02/05/2017
Costa de Prata	CP5	A29	Maceda / Cortegaça	-	-	31300	31900	C	2017	02/05/2017
Costa de Prata		A29	Cortegaça / Esmoriz	-	-	33800	32550	D	2017	02/05/2017
Costa de Prata		A29	Maceda / Cortegaça	-	-	31700	31150	D	2017	02/05/2017
Costa de Prata	CP8	A29	S. Felix / Granja	-	-	41200	40443	D	2017	02/05/2017
Costa de Prata		A29	Espinho / S. Felix	-	-	40443	40300	D	2017	02/05/2017
Costa de Prata	CP10	A29	Granja / Miramar	-	-	44900	45525	C	2017	02/05/2017
Costa de Prata	CP14	AE29	Hospital / Freixo	Freixo	C	-	-	C	2017	02/05/2017
Costa de Prata	CP16	A44	Madalena / Coimbrões	-	-	3300	4300	C	2017	02/05/2017
Costa de Prata		A44	Madalena / Coimbrões	-	-	3225	3225	D	2017	02/05/2017
Costa de Prata	Nº 963	A44	Madalena / Coimbrões	Coimbrões	E	4165	3926	D	2018	30/05/2018
Costa de Prata	Nº 979	A44	Valadares / Madalena	-	-	2550	2925	C	2018	30/08/2018
Costa de Prata		A44	Valadares / Madalena	-	-	2550	2925	D	2018	30/08/2018
Costa de Prata	Nº 1120	A44	A29-A44 / Ligação a EN109	-	-	0	742	C	2018	23/04/2019
Costa de Prata		A44	A29-A44 / Ligação a EN109	-	-	742	0	D	2018	23/04/2019
Costa de Prata		A44	Ligação a EN109 - Valadares	-	-	742	2053	C	2018	23/04/2019
Costa de Prata		A44	Ligação a EN109 - Valadares	-	-	2053	742	D	2018	23/04/2019
Costa de Prata		A44	Valadares / Madalena	-	-	2053	3103	C	2018	23/04/2019
Costa de Prata		A44	Valadares / Madalena	-	-	3103	2053	D	2018	23/04/2019
Costa de Prata		A44	Madalena / Coimbrões	-	-	3103	3927	C	2018	23/04/2019
Costa de Prata		A44	Madalena / Coimbrões	-	-	3927	3103	D	2018	23/04/2019
Costa de Prata		A25	Pirâmides / Esgueira	-	-	9800	11375	C	2018	23/04/2019
Costa de Prata		A25	Pirâmides / Esgueira	-	-	11375	9800	D	2018	23/04/2019

Costa de Prata	Nº 916	A25	Porto de Aveiro / Gafanha	-	-	1676	2400	C	2018	11/04/2018
Costa de Prata		A25	Porto de Aveiro / Gafanha	-	-	1676	2400	D	2018	11/04/2018
Costa de Prata	Nº 1093	A44	Ligação a EN109 / Valadares	-	-	1025	2053	C	2018	19/12/2018
Costa de Prata		A44	Valadares / Madalena	-	-	2053	3103	C	2018	19/12/2018
Costa de Prata		A44	Madalena / Coimbrões	-	-	3103	3800	C	2018	19/12/2018
Costa de Prata		A44	Ligação a EN109 / Valadares	-	-	1025	2053	D	2018	19/12/2018
Costa de Prata		A44	Valadares / Madalena	-	-	2053	3103	D	2018	19/12/2018
Costa de Prata		A44	Madalena / Coimbrões	-	-	3103	3800	D	2018	19/12/2018
Costa de Prata	Nº 1224	A44	Ligação a EN109 / Valadares	-	-	1975	2053	C	2019	20/09/2019
Costa de Prata		A44	Valadares / Madalena	-	-	2053	3103	C	2019	20/09/2019
Costa de Prata		A44	Madalena / Coimbrões	-	-	3103	3927	C	2019	20/09/2019
Costa de Prata		A44	Coimbrões / Limite de Concessão	-	-	3927	3950	C	2019	20/09/2019
Costa de Prata		A44	Ligação a EN109 / Valadares	-	-	1975	2053	D	2019	20/09/2019
Costa de Prata		A44	Valadares / Madalena	-	-	2053	3103	D	2019	20/09/2019
Costa de Prata		A44	Madalena / Coimbrões	-	-	3103	3927	D	2019	20/09/2019
Costa de Prata		A44	Coimbrões / Limite de Concessão	-	-	3927	3950	D	2019	20/09/2019
Costa de Prata	Nº 1207	A44	Madalena / Coimbrões	-	-	3103	3103	C	2019	01/09/2019
Costa de Prata		A44	Madalena / Coimbrões	-	-	3103	3103	D	2019	01/09/2019
Costa de Prata	20117-ES-L02-IRV-RPT-001-0	A29	A29-A44 / Canelas	-	-	47677	50148	C	2020	jan/21
Costa de Prata	20117-ES-L02-IRV-RPT-002-0	A29	A29-A44 / Canelas	-	-	47677	50148	D	2020	jan/21
Costa de Prata	20117-ES-L02-IRV-RPT-003-0	A29	Miramar / A29-A44	-	-	45335	47677	C	2020	nov/21
Costa de Prata	20117-ES-L02-IRV-RPT-004-0	A29	Miramar / A29-A44	-	-	45335	47677	D	2020	nov/21

Costa de Prata	22015-AA-L03-F02-SEG-RPT-003-B	A29	Esmoriz / Espinho	-	-	35900	36500	C	2022	Em processo
Costa de Prata	Lote 1 - Francelos (EN109)	A44	Fracelos / Valadares Norte	-	-	1150	800	D	2022	Em processo
Costa de Prata	RT_A44_Madalena_Coimbroes	A44	Madalena / Coimbrões	-	-	3103	3927	C	2022	Em processo
Costa de Prata	Lote 1 - Pirâmides_Esgueira	A25	Pirâmides / Esgueira	Pirâmides	C	10300	8300	D	2022	Em processo
Beiras Litoral e Alta	Nº 1091	A25	Carvoeiro / Talhadas	-	-	42100	43227	C	2018	08/01/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Talhadas / Reigoso	-	-	43227	48925	C	2018	08/01/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Carvoeiro / Talhadas	-	-	42100	43227	D	2018	08/01/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Talhadas / Reigoso	-	-	43227	48925	D	2018	08/01/2019
Beiras Litoral e Alta	Nº 1092	A25	Limite / Zona Industrial Albergaria	-	-	24590	25054	C	2018	31/01/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Zona Industrial Albergaria / IC2	-	-	25054	29034	C	2018	31/01/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	IC2 - Carvoeiro	-	-	29034	29150	C	2018	31/01/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Limite / Zona Industrial Albergaria	-	-	24590	25054	D	2018	31/01/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Zona Industrial Albergaria / IC2	-	-	25054	29034	D	2018	31/01/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	IC2 - Carvoeiro	-	-	29034	29150	D	2018	31/01/2019
Beiras Litoral e Alta	Nº 1100	A25	Carvoeiro / Talhadas	-	-	32098	43227	C	2018	15/03/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Carvoeiro / Talhadas	-	-	32098	43227	D	2018	15/03/2019
Beiras Litoral e Alta	Nº 1206	A25	Talhadas / Reigoso	-	-	49700	50062	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Reigoso / Cambarinho	-	-	50062	56107	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Cambarinho / Vouzela Poente	-	-	56107	61412	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Vouzela Poente / Vouzela Nascente	-	-	61412	63402	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Vouzela Nascente / Ventosa	-	-	63402	69281	C	2019	29/11/2019

Beiras Litoral e Alta	Nº 1206	A25	Ventosa / Boa Aldeia Poente	-	-	69281	74434	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Boa Aldeia Poente / Boa Aldeia Nascente	-	-	74434	75397	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Boa Aldeia Nascente / Fail	-	-	75397	84726	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Fail / EN231	-	-	84726	88402	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	EN231 / EN2	-	-	88402	94601	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	EN2 / Caçador	-	-	94601	96589	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Caçador / Fagilde	-	-	96589	101617	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Fagilde / Mangualde	-	-	101617	105356	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Mangualde / Chãs de Tavares	-	-	105356	117642	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Chãs de Tavares / Fornos de Algodres	-	-	117642	125880	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Forno de Algodres / Celorico	-	-	125880	137952	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Celorico / EN17	-	-	137952	139084	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	EN17 / Ratoeira Poente	-	-	139084	144062	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Ratoeira Poente / Ratoeira Nascente	-	-	144062	146361	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Ratoeira Nascente / IP2-A25	-	-	146361	146997	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	IP2-A25 / Guarda	-	-	146997	161162	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Guarda / Pinhel	-	-	161162	163100	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Pinhel / Pínzio	-	-	163100	177329	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Pínzio / Alto de Leomil	-	-	177329	184754	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Alto de Leomil / Vilar Formoso	-	-	184754	194000	C	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Talhadas / Reigoso	-	-	49700	50062	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Reigoso / Cambarinho	-	-	50062	56107	D	2019	29/11/2019

Beiras Litoral e Alta	Nº 1206	A25	Cambarinho / Vouzela Poente	-	-	56107	61412	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Vouzela Poente / Vouzela Nascente	-	-	61412	63402	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Vouzela Nascente / Ventosa	-	-	63402	69281	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Ventosa / Boa Aldeia Poente	-	-	69281	74434	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Boa Aldeia Poente / Boa Aldeia Nascente	-	-	74434	75397	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Boa Aldeia Nascente / Fail	-	-	75397	84726	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Fail / EN231	-	-	84726	88402	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	EN231 / EN2	-	-	88402	94601	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	EN2 / Caçador	-	-	94601	96589	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Caçador / Fagilde	-	-	96589	101617	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Fagilde / Mangualde	-	-	101617	105356	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Mangualde / Chãs de Tavares	-	-	105356	117642	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Chãs de Tavares / Fornos de Algodres	-	-	117642	125880	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Forno de Algodres / Celorico	-	-	125880	137952	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Celorico / EN17	-	-	137952	139084	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	EN17 / Ratoeira Poente	-	-	139084	144062	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Ratoeira Poente / Ratoeira Nascente	-	-	144062	146361	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Ratoeira Nascente / IP2-A25	-	-	146361	146997	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	IP2-A25 / Guarda	-	-	146997	161162	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Guarda / Pinhel	-	-	161162	163100	D	2019	29/11/2019

Beiras Litoral e Alta	Nº 1206	A25	Pinhel / Pínzio	-	-	163100	177329	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Pínzio / Alto de Leomil	-	-	177329	184754	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Alto de Leomil / Vilar Formoso	-	-	184754	194000	D	2019	29/11/2019
Beiras Litoral e Alta	Nº 1200	A25	Albergaria / IC2	-	-	25054	29034	C	2019	31/10/2019
Beiras Litoral e Alta		A25	Albergaria / IC2	-	-	29034	25054	D	2019	31/10/2019
Beiras Litoral e Alta	T2020-702-F1-L3-A25-RT-03	A25	Carvoeiro / Talhadas	-	-	39000	39600	D	2020	20/12/2021
Beiras Litoral e Alta	21113-AA-L02-F02-SEG-RPT-004-B	A25	Caçador / Fagilde	-	-	101617	96589	D	2022	Em processo
Beiras Litoral e Alta	21113-AA-L02-F02-SEG-RPT-003-01-A	A25	Fagilde / Mangualde	-	-	105356	101617	D	2022	Em processo
Grande Porto	GP11	A4	Ponte da Pedra / Vila Norte	Ponte da Pedra	C	-	-	C	2017	01/09/2017
Grande Porto	GP1-9	A4	Matosinhos / Sendim	-	-	200	250	C	2017	01/10/2017
Grande Porto		A4	Matosinhos / Sendim	Sendim	G	-	-	D	2017	01/10/2017
Grande Porto		A4	Sendim / Guifões	-	-	0	225	C	2017	01/10/2017
Grande Porto		A4	Guifões / Custóias	-	-	600	400	D	2017	01/10/2017
Grande Porto	GP12	A41	EN207 / Maia	-	-	12000	12000	D	2017	01/10/2017
Grande Porto	Nº 1122	A4	Custóias / Via Norte	-	-	2575	5042	C	2018	15/05/2019
Grande Porto		A4	Via Norte / Ponte da Pedra	-	-	5042	6104	C	2018	15/05/2019
Grande Porto		A4	Ponte da Pedra / Águas Santas	-	-	6104	7100	C	2018	15/05/2019
Grande Porto		A4	Custóias / Via Norte	-	-	2575	5042	D	2018	15/05/2019
Grande Porto		A4	Via Norte / Ponte da Pedra	-	-	5042	6104	D	2018	15/05/2019
Grande Porto		A4	Ponte da Pedra / Águas Santas	-	-	6104	7100	D	2018	15/05/2019
Grande Porto	Nº 1216	VRI	São Brás / VILPL	-	-	1000	1000	C	2019	31/05/2019
Grande Porto		VRI	São Brás / VILPL	-	-	1000	1000	D	2019	31/05/2019
Grande Porto	20117-ES-L01-IRV-RPT-003-0	A4	Sendim / Guifões	Sendim	H	0	300	C	2020	ago/22

Grande Porto	20117-ES-L01-F01-IRV-RPT-004-0	A41	Maia / Alfena	-	-	12448	14645	C	2020	ago/21
Grande Porto	21113-AA-L02-F02-SEG-RPT-001-E (3)	A4	Ponte da Pedra / Águas Santas	-	-	7800	6100	D	2022	Em processo
Grande Porto	21113-AA-L02-F02-SEG-RPT-002-A	A42	A41/A42 - Lordelo (Serôa)	-	-	1000	3250	C	2022	Em processo
Grande Lisboa	GL8-9	A16	A5 / Alcabideche	A16 / A5	B	-	-	C	2017	10/11/2017
Grande Lisboa		A16	A5 / Alcabideche	A16 / A5	C	-	-	C	2017	10/11/2017
Grande Lisboa	Nº 1115	A16	Mira Sintra / Cacém	-	-	19900	19900	C	2017	11/11/2017
Grande Lisboa		A16	Mira Sintra / Cacém	-	-	19900	19900	D	2017	11/11/2017
Grande Lisboa	Nº 1010	A16	Idanha / Crel	Crel	B	-	-	C	2018	09/08/2018
Grande Lisboa		A16	Sintra / Lourel	Lourel	B	-	-	C	2018	09/08/2018
Grande Lisboa	Nº 1069	A16	Linhó / Ranholas	-	-	7400	7675	C	2018	12/10/2018
Grande Lisboa	Nº 1123	A16	Ranholas / Mira Sintra	-	-	8900	13000	C	2018	29/01/2019
Grande Lisboa		A16	Ranholas / Mira Sintra	-	-	8900	13000	D	2018	29/01/2019
Grande Lisboa		A16	Ranholas / Mira Sintra	-	-	17600	17600	C	2018	07/02/2019
Grande Lisboa		A16	Ranholas / Mira Sintra	-	-	17600	17600	D	2018	07/02/2019
Grande Lisboa	T2020-702-F1-L4-NA5-RT-01	A16	A5 / Alcabideche	A5	B	200	400	D	2020	abr/22
Grande Lisboa		A16	A5 / Alcabideche	A5	C	200	400	D	2020	abr/22
Grande Lisboa	T2020-702-F1-L4-NLN-RT-01	A16	Ranholas / Linhó	Linhó	Todos	4200	4200	C	2020	abr/22
Grande Lisboa		A16	Ranholas / Linhó	Linhó	Todos	4200	4200	D	2020	abr/22
Grande Lisboa	22015-AA-L03-F02-SEG-RPT-002-B	A16	Alcoitão / Linhó	-	-	3500	3800	C	2022	Em processo
Grande Lisboa	22015-AA-L03-F02-SEG-RPT-001-B	A16	Sintra / Lourel	Lourel	B	-	-	C	2022	Em processo
Pinhal Interior	Nº 1014	A13	Condeixa / Coimbra Sul	Coimbra Sul	Ligação	75	1900	D	2018	06/08/2018

Pinhal Interior	Nº 1121	A13	EN110 (Atalaia) - Asseiceira	-	-	121200	123471	C	2018	26/02/2019
Pinhal Interior		A13	Asseiceira / EN110 (Santa Cita)	-	-	123471	127799	C	2018	26/02/2019
Pinhal Interior		A13	EN110 / Valdonas	-	-	127799	129025	C	2018	26/02/2019
Pinhal Interior		A13	EN110 (Atalaia) - Asseiceira	-	-	121200	123471	D	2018	26/02/2019
Pinhal Interior		A13	Asseiceira / EN110 (Santa Cita)	-	-	123471	127799	D	2018	26/02/2019
Pinhal Interior		A13	EN110 / Valdonas	-	-	127799	129025	D	2018	26/02/2019
Pinhal Interior	Nº 1349	A13	Condeixa / Coimbra Sul	Coimbra Sul	Ligação	1500	600	D	2019	28/03/2020