



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

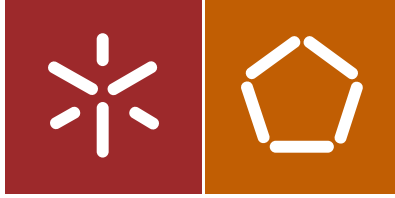
André Filipe Miranda Lopes

Avaliação do impacto na circulação e
risco de acidente em estradas em obras

André Filipe Miranda Lopes
Avaliação do impacto na circulação e
risco de acidente em estradas em obras

UMinho | 2015

outubro de 2015



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

André Filipe Miranda Lopes

Avaliação do impacto na circulação e
risco de acidente em estradas em obras

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efectuado sob a orientação de
Professora Elisabete Freitas
Professor Paulo Ribeiro
Eng^a. Lurdes Francisco

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à minha orientadora, Prof. Doutora Elisabete Freitas, pela constante disponibilidade e esforço demonstrado durante toda a realização do trabalho.

Agradeço também aos meus co-orientadores, Prof. Doutor Paulo Ribeiro e Eng^a. Lurdes Francisco, e à Doutora Jocilene, pela contribuição dada para o enriquecimento do trabalho.

Expresso ainda o meu agradecimento à Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR) e às Infraestruturas de Portugal (IP) pela prontidão na disponibilização de dados importantes para o desenvolvimento da dissertação.

Considerando o meu percurso académico, não posso deixar de agradecer:

A todo o corpo de funcionários do Conselho Pedagógico, Magda, Joana e Doutora Rosa, que sempre me acompanharam durante o meu percurso.

Aos funcionários dos Serviços Académicos, dos quais tive o prazer de ser colega de trabalho.

A todos os meus amigos, pelo companheirismo e força nos momentos mais difíceis.

Por último, mas não menos importante, a toda a minha família, pais, irmão, avós e à Joana, que foram, sem dúvida, os pilares mais importantes do meu sucesso académico.

A todos, o meu sincero obrigado.

RESUMO

O problema da sinistralidade automóvel assume-se como uma questão de importância socio-económica relevante a nível nacional e internacional sendo que, em Portugal, a sinistralidade em zonas de obra é ainda um assunto pouco abordado.

O objetivo do presente trabalho passa pela análise dos fatores de risco associados ao número e gravidade dos acidentes em zonas de obra, assim como o impacto das obras na circulação automóvel.

Inicialmente, analisa-se de uma forma geral a sinistralidade em Portugal, comparando-a com diversos países europeus.

A seguir apresentada-se diversos estudos no âmbito da sinistralidade rodoviária em zonas de obra e impactos das obras na circulação, e os fatores de risco considerados na formulação de modelos de previsão da frequência ou gravidade dos acidentes, assim como os modelos de determinação da capacidade e do atraso em zonas de obra são analisados.

Complementarmente aborda-se os planos de obra, dos quais fazem parte os planos de sinalização temporária, através de uma análise crítica baseada na comparação da sinalização utilizada em três países distintos, nomeadamente Portugal, Reino Unido e EUA.

A partir da seleção de um conjunto de 20 estradas submetidas a obras, cujos dados de tráfego e do número de acidentes foi possível obter, fez-se uma análise de sensibilidade a um modelo de previsão da frequência de acidentes e desenvolveu-se ainda um modelo de regressão linear generalizado (binomial negativo) para prever a frequência de acidentes para as condições das estradas. Além disso, o impacto das obras na circulação rodoviária foi estudado a partir da análise de uma obra na autoestrada A28, com o cálculo das capacidades em condições normais e em períodos de obra, sendo posteriormente calculado o atraso sofrido pelos condutores.

Com o estudo efetuado conclui-se que as obras na estrada aumentam o número de acidentes e influenciam a fluidez do trânsito. As variáveis mais importantes no que diz respeito ao risco de acidentes são o tráfego, comprimento e duração de obra, condições de luminosidade, presença de veículos pesados ou desrespeito pela sinalização. A comparação da capacidade de previsão entre os modelos analisados e o desenvolvido é distinta, sendo que o modelo desenvolvido, apesar do número reduzido da amostra, é consideravelmente superior.

A capacidade das vias é bastante afetada durante o período de obra, originando a formação de filas de espera e atrasos, representando um custo económico considerável.

Palavras chave: Acidentes; Zonas de obra; Modelos; Risco; Impacto; Sinalização temporária.

ABSTRACT

The problem of motor vehicle accidents is assumed as a matter of socio-economic importance relevant to national and international level. In Portugal, the number of accidents in work zones is still a subject shortly developed.

The aim of this work is the analysis of the risk factors associated with the number and severity of accidents in work zones, and the impact of the road works on traffic.

Initially, an analysis of the accident ratio will be carried out in Portugal, comparing it to various European countries.

This study presents several studies in the context of road accidents in work zones and impacts of the works in circulation. It makes an analysis of the risk factors considered in the formulation of the frequency or severity prediction models, as well as the models for determining the capacity and delay in work zones.

An approach to work plans, which are part of the plans of temporary signs will be made. This type of signaling will be subject to a critical analysis by comparing the signs used in three different countries, namely Portugal, United Kingdom and EUA.

From the selection of 20 roads works of which traffic data and number of accidents could be obtained, there was a sensitivity analysis to a frequency of accidents prevision model. It was also developed a generalized linear regression model (negative binomial) to predict the frequency of accidents to road conditions.

The study of the impact of the works on road traffic will be made from the analysis of a work on the A28 freeway, by calculating the capacity under normal conditions and in work periods, subsequently calculated the delay suffered by drivers.

With this study it is concluded that the road works increase the number of accidents and influence the traffic flow. The most important variables related to the risk of accidents are the traffic, the length and duration of the work, light conditions, the presence of heavy vehicles and disregard for signaling. The comparison of capacity of prevision between the analyzed models and the created model is different. Despite small data available, the developed model shows to be superior.

The capacity of the roads is quite affected on the work period leading to formation of queues and delays, representing a considerable economic cost.

Keywords: Accidents; Work zones; Models; Risk; Impact; Temporary signs.

INDICE GERAL

| | |
|---|-----|
| AGRADECIMENTOS..... | iii |
| RESUMO | v |
| ABSTRACT..... | vii |
| INDICE GERAL..... | ix |
| INDICE DE FIGURAS | xi |
| INDICE DE TABELAS | xv |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1. Interesse e enquadramento do tema | 1 |
| 1.2. Objetivos do trabalho..... | 2 |
| 1.3. Estrutura do trabalho | 3 |
| 2. ESTADO DA ARTE..... | 5 |
| 2.1. Caracterização da Sinistralidade..... | 5 |
| 2.2. Impacto da zona de obra na circulação do tráfego. Soluções de desvio e alternância | 9 |
| 2.3. Modelos existentes para zonas em obra | 16 |
| 2.4. Modelos de previsão de risco de acidente em zona de obra..... | 17 |
| 2.5. Modelos de frequência de acidentes..... | 17 |
| 2.6. Taxa de acidentes em zonas de obras..... | 28 |
| 2.7. Modelos de gravidade das vítimas de acidentes em zonas de obra..... | 30 |
| 2.8. Modelos de impacto das obras na circulação | 45 |
| 2.8.1. Modelos de determinação da capacidade | 46 |
| 2.8.2. Modelos de determinação do atraso | 52 |
| 3. SEGURANÇA RODOVIÁRIA EM ZONAS DE OBRA..... | 57 |
| 3.1. Introdução..... | 57 |
| 3.2. Planos de Segurança Rodoviária | 57 |
| 3.3. Esquemas de colocação da sinalização temporária | 64 |
| 3.4. Análise crítica da sinalização vertical em obras | 70 |

| | |
|--|-----|
| 3.5. Análise crítica das marcas rodoviárias | 81 |
| 3.6. Área adjacente à faixa de rodagem..... | 83 |
| 3.7. Sistemas de controlo de tráfego em zonas de obra..... | 85 |
| 3.8. Estudo de caso | 89 |
| 4. MODELOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES EM ZONA DE OBRA..... | 95 |
| 4.1. Enquadramento..... | 95 |
| 4.2. Metodologia | 95 |
| 4.3. Análise de sensibilidade de modelo de previsão do número de acidentes..... | 98 |
| 4.4. Acidentes com mortos e feridos | 99 |
| 4.5. Ajuste do modelo de Sun, Edara et al. (2014) ao conjunto de obras referenciado | 102 |
| 4.6. Acidentes com danos materiais | 104 |
| 4.7. Taxa de acidentes em zonas de obra | 108 |
| 4.8. Elaboração de modelo de previsão de acidentes mortais e com feridos em zonas de obra | 110 |
| 5. PREVISÃO DO IMPACTO NA CIRCULAÇÃO DE UMA OBRA NA AUTOESTRADA A28..... | 115 |
| 5.1. Enquadramento e metodologia | 115 |
| 5.2. Cálculo da capacidade da autoestrada A28 | 116 |
| 5.2.1. Cálculo da capacidade nas condições normais de circulação | 116 |
| 5.2.2. Cálculo da capacidade em período de obra..... | 118 |
| 5.3. Cálculo do atraso dos veículos devido à obra | 119 |
| 6. Conclusões e desenvolvimentos futuros..... | 122 |
| Referências Bibliográficas | 126 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Tipo de acidentes (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2013) | 7 |
| Figura 2 – Acidentes por tipo da via (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2013) | 8 |
| Figura 3 – Tipos de colisões e de despistes em acidentes rodoviários (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2013) | 8 |
| Figura 4 – Vítimas mortais por milhão de habitante (Jacob 2013) | 9 |
| Figura 5 – Exemplo do comportamento dos utilizadores mais frequentes de vias em obras (Lee 2009) | 10 |
| Figura 6 – Configuração da zona de obra abordada no estudo (Tang and Chien 2009) | 11 |
| Figura 7 – Alternância de vias num caso de trabalhos fixos (Estradas 1997) | 15 |
| Figura 8 – Alternância de vias e aviso em tempo real do atraso. (Illinois, Department of et al. 2001) | 16 |
| Figura 9 – Distribuição dos acidentes durante o dia (Ozturk, Ozbay et al. 2013) | 18 |
| Figura 10 – Imagens representativas da colisão frente-traseira..... | 26 |
| Figura 11 – Controlo através da utilização de setas direcionais | 27 |
| Figura 12 – Desenho de obra do tipo “onda” | 29 |
| Figura 13 – Gráfico de resumo dos resultados obtidos em diversos estudos acerca do impacto das obras na taxa de acidentes (Yang, Ozbay et al. 2015)..... | 30 |
| Figura 14 – Resumo dos resultados obtidos por vários estudos acerca da influência das obras na gravidade dos acidentes (Yang, Ozbay et al. 2015) | 31 |
| Figura 15 – Imagens representativas de uma obra de construção, conservação e trabalhos rápidos, respetivamente (Weng and Meng 2011)..... | 31 |
| Figura 16 – Comparação de acidentes segundo condições de luminosidade (Li and Bai 2009)..... | 38 |
| Figura 17 – Obstruções em zonas de obras (Sinais e equipamento) | 42 |
| Figura 18 – Obstrução em zonas de obras (Equipamento)..... | 42 |
| Figura 19 – Obstrução em zonas de obras (Árvores) | 42 |
| Figura 20 – Variáveis que influenciam a capacidade de uma estrada em obras (Weng and Meng 2013) | 46 |
| Figura 21 – Evolução da fila de espera..... | 54 |
| Figura 22 – Fase um da colocação da sinalização temporária (Estradas 1997) | 59 |
| Figura 23 – Fase dois da colocação da sinalização temporária (Estradas 1997)..... | 60 |
| Figura 24 – Fase três da colocação da sinalização temporária (Estradas 1997) | 60 |
| Figura 25 – Implementação de um desvio (Estradas 1997) | 60 |
| Figura 26 – Localização do local a intervir..... | 61 |

| | |
|--|----|
| Figura 27 – Descrição dos trabalhos a efetuar..... | 62 |
| Figura 28 – Pormenor da legenda | 62 |
| Figura 29 – Descrição dos trabalhos a efetuar..... | 62 |
| Figura 30 – Descrição dos trabalhos a efetuar..... | 62 |
| Figura 31 – Descrição dos trabalhos a efetuar..... | 62 |
| Figura 32 – Descrição dos trabalhos a efetuar..... | 63 |
| Figura 33 – Descrição dos trabalhos a efetuar..... | 63 |
| Figura 34 – Descrição dos trabalhos a efetuar..... | 63 |
| Figura 35 – Composição da sinalização temporária (Estradas 1997)..... | 64 |
| Figura 36 – Composição da sinalização em obras nos EUA (DoT 2003)..... | 66 |
| Figura 37 – Sinalização insuficiente, excessiva e explicativa (Roque 2005)..... | 70 |
| Figura 38 – Número e sentido das vias de trânsito..... | 70 |
| Figura 39 – Pré-sinalização..... | 71 |
| Figura 40 – Sinalização avançada | 72 |
| Figura 41 – Sinalização intermédia | 72 |
| Figura 42 – Sinalização de posição e dispositivos complementares..... | 73 |
| Figura 43 – Sinalização final | 74 |
| Figura 44 – Sinalização regulamentar | 75 |
| Figura 45 – Sinalização de aviso | 76 |
| Figura 46 – Sinalização de orientação | 76 |
| Figura 47 – Sinalização temporária de controlo de tráfego..... | 77 |
| Figura 48 – Sinalização geral | 78 |
| Figura 49 – Sinalização para restrições de vias, encerramentos e alteração de circulação | 78 |
| Figura 50 – Sinalização avançada em estradas principais..... | 79 |
| Figura 51 – Sinalização final | 79 |
| Figura 52 – Marcação viária temporária | 81 |
| Figura 53 – Lombas temporárias (Transportation 2008) | 82 |
| Figura 54 – Marcação com elementos refletos | 82 |
| Figura 55 – Área adjacente à faixa de rodagem (Obra CJR)..... | 83 |
| Figura 56 – Raquetes utilizadas no sistema stop/go (Government 2009)..... | 86 |
| Figura 57 – Sistema stop/go (Government 2009)..... | 87 |
| Figura 58 – Controlo de tráfego com recurso a raquetes (Estradas 1997)..... | 88 |
| Figura 59 – Sistema de controlo de tráfego através de transmissão de bandeira (DoT 2003)..... | 89 |
| Figura 60 – Introdução de saneamento | 89 |
| Figura 61 – Esquema de colocação de sinalização F06 (Estradas 1997)..... | 90 |

| | |
|---|-----|
| Figura 62 – Planta de sinalização temporária | 91 |
| Figura 63 – Sinalização em obra (Sinais ST10 e A22) | 91 |
| Figura 64 – Sinalização em obra (Sinais C13 e C14a) | 91 |
| Figura 65 – Sinalização em obra (Sinais CT4 e ET2) | 92 |
| Figura 66 – Sistema semafórico em obra..... | 92 |
| Figura 67 – Sistema semafórico em obra..... | 93 |
| Figura 68 – Evolução do número de acidentes mortais/com feridos com a variação do TMDA..... | 100 |
| Figura 69 – Evolução do número de acidentes mortais/com feridos com a variação do comprimento de obra..... | 101 |
| Figura 70 – Evolução do número de acidentes mortais/com feridos com a variação da duração da obra | 101 |
| Figura 71 – Gráfico de resíduos da comparação dos acidentes estimados com os acidentes previstos | 103 |
| Figura 72 – Evolução do número de acidentes sem feridos com a variação do TMDA..... | 105 |
| Figura 73 – Evolução do número de acidentes sem feridos com a variação do comprimento de obra | 105 |
| Figura 74 – Evolução do número de acidentes sem feridos com a variação da duração da obra..... | 106 |
| Figura 75 – Gráfico de resíduos da comparação dos acidentes previstos pelo modelo e os acidentes estimados..... | 107 |
| Figura 76 – Evolução da taxa de acidente com a variação do TMDA | 109 |
| Figura 77 – Evolução da taxa de acidentes com a variação do comprimento de obra..... | 110 |
| Figura 78 – Evolução da taxa de acidentes com a variação da duração da obra..... | 110 |
| Figura 79 – Gráfico de Resíduos do modelo..... | 113 |
| Figura 80 – Tráfego/hora na autoestrada A28..... | 119 |

INDICE DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1 – Cenário A considerado no estudo de (Tang and Chien 2009) | 12 |
| Tabela 2 – Cenário B considerado no estudo de (Tang and Chien 2009) | 13 |
| Tabela 3 – Resultados obtidos no estudo de (Tang and Chien 2009) | 13 |
| Tabela 4 – Resumo dos resultados obtidos no estudo efetuado por Yang, Ozbay et al. (2013) | 21 |
| Tabela 5 – Coeficientes utilizados no modelo de Sun, Edara et al. (2014) | 24 |
| Tabela 6 – Variáveis utilizadas no estudo de Weng and Meng (2011) | 32 |
| Tabela 7 – Resumo dos resultados obtidos no estudo efetuado por Weng and Meng (2011) em obras de construção (continua) | 34 |
| Tabela 8 – Resumo dos resultados obtidos no estudo efetuado por Weng and Meng (2011) em obras de conservação (Continua)..... | 35 |
| Tabela 9 – Resumo dos resultados obtidos no estudo efetuado por Weng and Meng (2011) em trabalhos rápidos | 36 |
| Tabela 10 – Intensidade dos trabalhos segundo o modelo base (Batson, Turner et al. 2009)..... | 50 |
| Tabela 11 – Valores da intensidade dos trabalhos segundo o modelo híbrido do HCM2000 | 50 |
| Tabela 12 – Limites de velocidade a impor consoante o tipo de obra (Estradas 1997) | 67 |
| Tabela 13 – Relação entre a velocidade praticada nas vias e a distância entre sinais (Estradas 1997) | 68 |
| Tabela 14 – Relação entre a velocidade praticada na estrada e a distância a que os sinais devem ser vistos (Government 2009) | 69 |
| Tabela 15 – Relação entre a largura da zona livre e a redução da percentagem de acidentes (McGee, Hughes et al. 1995) | 84 |
| Tabela 16 – Número de mortos e feridos graves por 10 ⁶ veículos p/Km (Roque 2011) | 85 |
| Tabela 17 – Valores de tráfego limites para a utilização do sistema stop/go (Government 2009)..... | 86 |
| Tabela 18 – Lista de obras (Continua) | 96 |
| Tabela 19 – Parâmetros utilizados no modelo de Sun, Edara et al. (2014) | 98 |
| Tabela 20 – Valores utilizados na análise de sensibilidade | 98 |
| Tabela 21 – Análise de sensibilidade do modelo de acidentes com vítimas mortais/feridos | 99 |
| Tabela 22 – Aplicação do modelo de (Sun, Edara et al. 2014) para o cálculo do número de acidentes mortais/ com feridos | 102 |
| Tabela 23 – Análise de sensibilidade do modelo de acidentes com danos materiais | 104 |
| Tabela 24 – Aplicação do modelo de (Sun, Edara et al. 2014) para o cálculo do número de acidentes sem feridos | 107 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 25 – Análise de sensibilidade do Modelo de Taxa de Acidentes elaborado por (Khattak, Khattak et al. 2002)..... | 108 |
| Tabela 26 – Dados de entrada para elaboração do modelo de previsão de acidentes..... | 111 |
| Tabela 27 – Modelo de previsão do número de acidentes com mortos/feridos | 112 |
| Tabela 28 – Cálculo da capacidade (Velocidade em regime livre - FFS) | 117 |
| Tabela 29 – Interpolação para obtenção do débito associado ao Nível de Serviço: E..... | 117 |
| Tabela 30 – Cálculo da capacidade em obra segundo o HCM2000 (National Research and Transportation Research 2010)..... | 118 |
| Tabela 31 – Atrasos dos veículos | 121 |

1. INTRODUÇÃO

1.1. Interesse e enquadramento do tema

O veículo automóvel continua a ser um meio de deslocação frequentemente utilizado em Portugal, verificando-se inclusive um aumento do seu uso em ambiente urbano. Com uma rede de estradas bastante extensa, o passo seguinte passa pela manutenção das infraestruturas viárias, intervindo nestas, no sentido de manter a segurança para os utilizadores da estrada.

As obras de manutenção ou conservação de estradas, na sua maioria das vezes, alteram a geometria da estrada, o que implicará uma alteração nas expectativas dos condutores, levando ao aumento quer dos atrasos, quer do número de acidentes. No caso dos acidentes, os aumentos podem ser na ordem dos 23.8% e dos 17.3% nos acidentes sem e com feridos, respetivamente, quando comparados os números de sinistros antes e depois da existência de uma obra na estrada (Khattak, Khattak et al. 2002).

A ANSR (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2009) elaborou uma Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária, apostando numa visão de futuro para resolver e colmatar problemas relacionados com a sinistralidade rodoviária.

No âmbito das obras rodoviárias, nesse documento, são identificados fatores relacionados com o meio envolvente e a infraestrutura viária, divididos em três partes distintas, nomeadamente antes do acidente, durante e depois do mesmo. Sendo assim tem-se:

- Antes do acidente: Conceção; Construção; Sinalização; Conservação e Requalificação das vias; Estacionamento; Controlo Automático da Velocidade;
- No acidente: BEAV (Boletim Estatístico de Acidentes de Viação); Melhoria da Capacidade de Aviso;
- Depois do acidente: Investigação dos acidentes; Análise e correção dos pontos negros; Melhoria da capacidade de intervenção (formação dos meios de socorro e rede nacional de assistência).

Importa realçar que a sinistralidade rodoviária deve ser considerada, para além de um problema devido a comportamentos inadequados associados a falências no sistema de tráfego rodoviário, um grave problema de saúde pública, com as inerentes consequências sociais e económicas.

Uma componente de extrema importância no que diz respeito a obras na estrada, a ser considerada antes dos acidentes, prende-se com a existência de sinalização temporária, que tem como objetivo informar e guiar os condutores que se aproximam e circulam dentro da zona de trabalhos, alertando para as alterações da geometria da estrada, levando à adoção de comportamentos adequados às condições existentes.

O estudo dos fatores que influenciam a frequência e gravidade dos acidentes em estradas em obras permitirá perceber quais as medidas que podem ser tomadas de forma a promover um aumento da segurança para os condutores que se inserem numa zona em obras, reduzindo assim os custos económicos e sociais provenientes dos atrasos e dos acidentes devido às intervenções viárias.

Os custos associados aos atrasos na circulação e aos acidentes viários representam um peso considerável na economia, sendo que entre 1996 e 2010 se verificou que o custo económico e social anual médio dos acidentes rodoviários totais foi cerca de 2503.3 milhões de euros, entre acidentes com mortos, feridos graves e feridos ligeiros (Donário and dos Santos 2012).

1.2. Objetivos do trabalho

Apesar de noutros países, nomeadamente nos Estados Unidos da América, o estudo da sinistralidade das estradas em obras já se encontrar bastante desenvolvido em alguns estados, em Portugal verifica-se que não existe uma análise sistemática deste assunto.

Numa primeira abordagem ao problema faz-se uma análise da sinistralidade geral em Portugal e noutros países, com o objetivo de identificar a dimensão social que os acidentes rodoviários, entre os quais os acidentes em zonas de obra, possuem.

Este trabalho pretende assim apresentar os diversos estudos efetuados no âmbito da sinistralidade rodoviária, analisando quais os fatores de risco associados ao número de acidentes, gravidade dos acidentes em zonas de obra.

Pretende-se ainda efetuar a análise dos fatores associados aos atrasos, resultantes da implementação de obras, assim como os custos associados a esses mesmos atrasos, em parte devido à perda de capacidade das vias.

Os planos de sinalização, que acompanham todos os projetos de uma obra, irão ser alvo de análise, contando para isso com documentação fornecida pela empresa Cândido José Rodrigues. Além da análise dos planos de sinalização, serão ainda examinadas outras componentes dos

projetos de obras viárias, com o objetivo de perceber de forma mais efetiva o funcionamento da obra como um todo. Será ainda feita uma análise a uma obra da empresa CJR, contando para isso com uma visita à obra.

Relativamente à sinalização temporária, sinalização utilizada em obra, será efetuada uma análise crítica, comparando a sinalização temporária utilizada não só em Portugal, mas também noutros países. Esta análise incidirá essencialmente nos aspetos físicos, mensagem transmitida e métodos de controlo do tráfego.

Após consolidação de conhecimentos será feita uma análise de sensibilidade de um modelo existente, com o objetivo de identificar o peso de cada fator na avaliação do risco de acidente. Serão ainda estudadas as condições para a elaboração de um modelo que permita calcular o risco de acidentes em algumas estradas do nosso país, verificando quais as que representam um maior risco para a segurança dos condutores caso seja necessário efetuar qualquer tipo de obra.

1.3. Estrutura do trabalho

Após o capítulo introdutório, onde são expostos os objetivos do trabalho, é efetuada, no Capítulo 2, a análise de vários documentos no âmbito da sinistralidade geral e em zonas de obra. A pesquisa bibliográfica é ainda dedicada à análise de modelos de previsão do risco de acidentes em zonas de obra e modelos de previsão do impacto nestas mesmas zonas.

No capítulo 3 são apresentadas algumas questões importantes relacionadas com as obras rodoviárias, como os planos de segurança de obra, que contemplam, por exemplo, a sinalização temporária a utilizar. Neste capítulo será ainda apresentado um estudo de caso, resultante do acompanhamento de uma obra da responsabilidade da empresa CJR.

No capítulo 4 serão abordados os modelos de previsão de acidentes. Neste capítulo é feita a análise de sensibilidade de alguns modelos, com o posterior desenvolvimento de um modelo de previsão da frequência de acidentes.

O capítulo 5 trata a análise da capacidade da autoestrada A28 quando submetida a obra. Além da análise da capacidade, será ainda calculado o atraso para os veículos resultante da formação de filas de espera.

No capítulo 6 apresentam-se as conclusões deste trabalho e deixam-se sugestões para temas a desenvolver no futuro.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Caracterização da Sinistralidade

Antes de abordar a questão da sinistralidade, importa perceber as diferenças conceituais existentes no que diz respeito aos acidentes rodoviários, que constituem a base dos estudos da sinistralidade.

Em Portugal, acidente de viação é definido como uma ocorrência na via pública ou que nela tenha origem envolvendo pelo menos um veículo, do conhecimento das entidades fiscalizadoras e da qual resultem vítimas e/ou danos materiais (DGV 2005).

Já no que respeita à definição de acidente nos EUA, acidente de viação é uma ocorrência que produz danos humanos ou materiais, envolve um veículo motorizado em transporte de pessoas ou bens e ocorre numa via ou enquanto o veículo se encontra em movimento mesmo após sair da via de circulação (IRTAD 1998).

Tornou-se importante, face à diversidade de situações existentes, que comprometem a comparabilidade internacional de dados sobre o tema, encontrar uma definição oficial para acidente de viação a utilizar em estatísticas internacionais.

Sendo assim, acidente de viação pode ser definido como o que ocorre ou tem origem numa via ou estrada aberta à circulação rodoviária pública, do qual resulta uma ou mais vítimas mortais ou com ferimentos e no qual pelo menos um veículo está envolvido. Estes acidentes incluem colisões entre veículos, veículos e peões, veículos e animais ou veículos e obstáculos fixos. Incluem ainda situações de acidente no qual apenas um veículo esteja envolvido não havendo o envolvimento de mais nenhum utilizador da via (IRTAD 1998).

Feita a abordagem ao conceito de acidente de viação no que diz respeito ao seu significado em diferentes países, pode definir-se sinistralidade como sendo um fenómeno civilizacional, fruto da existência e da circulação em massa de veículos na via pública. As causas da sinistralidade assentam numa dinâmica em que intervêm quatro fatores, nomeadamente: humano, veículo, via e ambiente (Oliveira 2007).

Segundo o Plano Nacional de Prevenção Rodoviária, podem identificar-se alguns problemas que condicionam a segurança rodoviária em Portugal, relacionados com a sinistralidade em obras (Interna 2003):

- Deficiente coordenação nas atividades das várias entidades (públicas e privadas) com responsabilidades de intervenção no sistema rodoviário e respetiva segurança;
- Infraestrutura rodoviária com deficiências de várias ordens nas diferentes fases do respetivo ciclo de vida, nomeadamente, no que respeita a inconsciências ao nível do projeto, a falta de qualidade na construção, o tratamento inadequado da área adjacente à faixa de rodagem e a deficiência na conservação, incluindo as referentes à manutenção de equipamentos de segurança. Neste contexto, pode considerar-se grave a situação de obras rodoviárias onde se deteta com elevada frequência quer a falta de sinalização e de diversos equipamentos de segurança, quer a sua deficiente instalação.

Para se perceber a expressão da sinistralidade em Portugal, é importante efetuar uma análise de alguns aspetos relacionados com a mesma, com base no anuário de segurança rodoviária de 2013, fornecido pela Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2013). Esse relatório contém dados estatísticos da sinistralidade, sendo que para o ano de 2013 se pode constatar o seguinte:

- A percentagem de acidentes com vítimas, segundo as condições de luminosidade, é de 73% durante o dia, 24% durante a noite e 3% na aurora ou crepúsculo. A distribuição percentual das vítimas mortais é de 60% durante o dia, 35% durante a noite e 5% na aurora ou crepúsculo. Segundo o anuário de segurança rodoviária, o número de acidentes durante a noite tem vindo a diminuir, representando um pouco menos de ¼ do total dos acidentes.
- A maioria dos acidentes ocorreu com boas condições atmosféricas. O facto de chover na altura em que ocorreu o acidente não agravou as consequências do mesmo;
- No que diz respeito aos acidentes segundo o período horário, verificou-se que o período com um maior número de vítimas é o das 15h-18h. No entanto, os acidentes serão mais graves das 3h-6h;
- Segundo o tipo de via e localização, pode concluir-se que o maior número de acidentes com vítimas ocorre dentro das localidades, com uma percentagem de 76%, com maior incidência em arruamentos e estradas nacionais, como ilustrado na Figura 1 e Figura 2;
- Nos acidentes segundo a sua natureza, a divisão é feita em atropelamento, colisão ou despiste. As colisões ocorrem em maior número, nomeadamente a colisão traseira com

outro veículo em movimento, colisão lateral com outro veículo em movimento e colisão com veículo ou obstáculo na faixa de rodagem (Figura 3);

- Em 2013 cerca de 58% dos acidentes de que resultaram pelo menos uma vítima mortal localizaram-se dentro de localidades.

A comparação dos dados relativos a 2013 com os de 2012 demonstra que, na generalidade, o número de acidentes aumentou. No entanto, a gravidade desses mesmos acidentes sofreu uma diminuição. Observou-se uma ligeira descida dos acidentes dentro de localidades face ao registado em 2012, sendo contudo ainda muito elevado o peso destes acidentes, comparando com as taxas europeias.

Nos gráficos seguintes (Figura 1 e Figura 2) podem observar-se alguns dos dados acima citados.

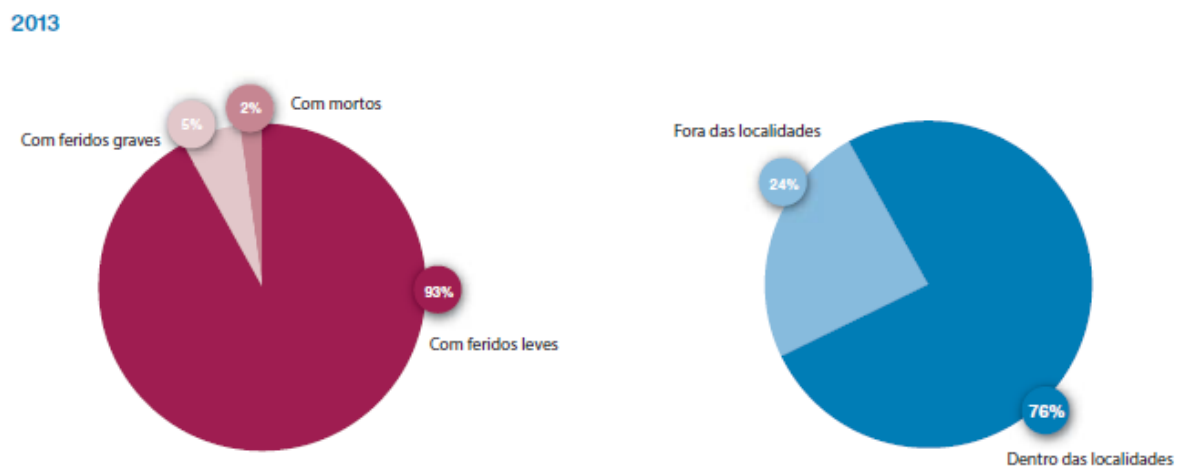


Figura 1 – Tipo de acidentes (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2013)

2013

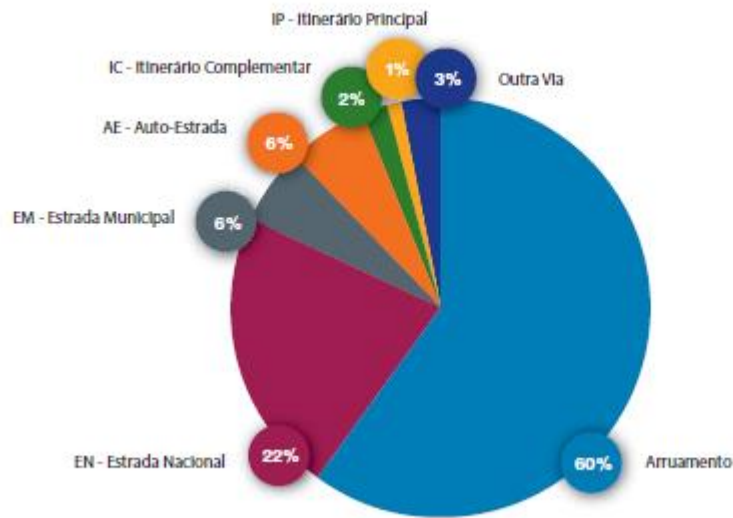


Figura 2 – Acidentes por tipo da via (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2013)

No que diz respeito à natureza dos acidentes, a divisão encontra-se feita em atropelamentos, colisões e despistes. Sendo assim, na Figura 3 encontram-se representadas as distribuições dos diferentes tipos de colisões e despistes.

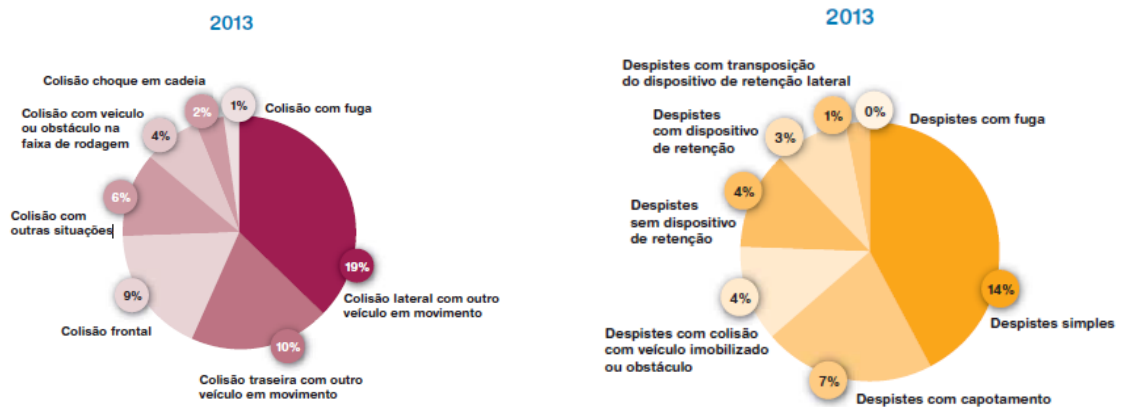


Figura 3 – Tipos de colisões e de despistes em acidentes rodoviários (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2013)

Num contexto europeu pode verificar-se que Portugal, apesar das reduções efetuadas ao nível da sinistralidade, ainda se encontra acima da média europeia Jacob (2013), por exemplo, no número de vítimas mortais por milhão de habitante, com 68 mortos, quando a média dos 28 se situa nos 61, como se pode observar na Figura 4.

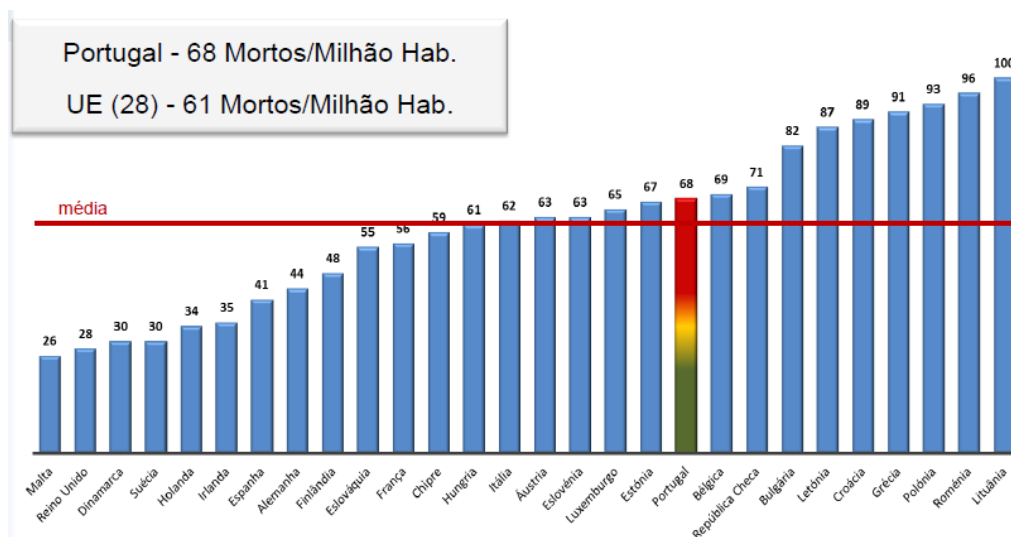


Figura 4 – Vítimas mortais por milhão de habitante (Jacob 2013)

No que toca à evolução das fatalidades, de 2010 a 2012, a redução verificada em Portugal é de 23%, ficando acima da média dos restantes países europeus, contudo ainda com bastantes pontos a melhorar.

Toda a análise da sinistralidade efetuada anteriormente não se refere em particular à sinistralidade em zonas de obras.

2.2. Impacto da zona de obra na circulação do tráfego. Soluções de desvio e alternância

Especialmente em áreas urbanas, a interrupção da circulação do tráfego, vulgarmente designados por “cortes de via” devido a obras na estrada podem ter um enorme impacto no escoamento do tráfego e nos custos para o utente, cuja importância e impacto é reconhecida (Lee 2009).

Estudos anteriores ((Merkle, Middendorf et al. 2002);(Shyu, Lin et al. 2004)) propuseram modelos de programação para reduzir o impacto da execução de trabalhos em estradas na circulação rodoviária. Através da simulação microscópica, o modelo calcula o atraso dos veículos e tendo subjacente um comportamento do tráfego semelhante ao associado a uma colónia de formigas, para definir a solução mais próxima da ideal, conforme a Figura 5.

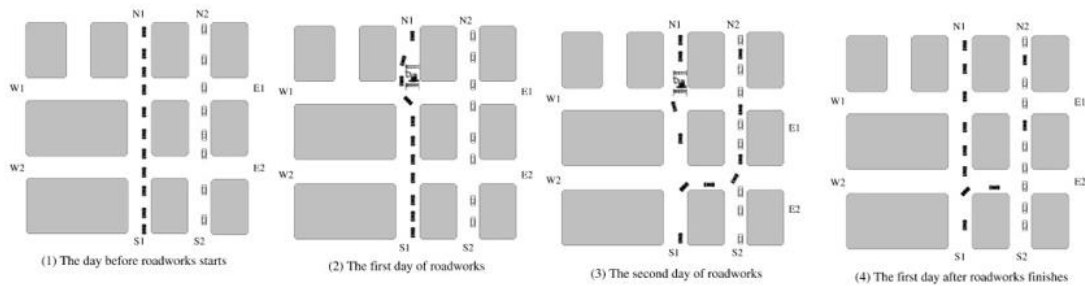


Figura 5 – Exemplo do comportamento dos utilizadores mais frequentes de vias em obras (Lee 2009)

Diferentes tipos de utilizadores reagem de forma diferente à ocorrência de obras numa estrada, sendo possível definir dois grupos de condutores:

- (1) Condutores que necessitam de passar na zona de obra devido a uma atividade ocasional, como por exemplo a caminho de um ponto turístico ou um encontro.
- (2) Condutores que utilizam a estrada todos os dias como parte da sua rotina, caso dos condutores que utilizam a estrada para se deslocarem para o local de trabalho ou escola. Este grupo de condutores é maior do que os condutores ocasionais, sobretudo em áreas urbanas, e tendencialmente altera o seu comportamento, como se ilustra na Figura 5 (Lee 2009).

Além da familiaridade dos condutores em relação à estrada, a ocorrência de acidentes em zonas de obra pode ainda estar relacionada com fatores humanos. Erros humanos, incluindo a falta de atenção e respeito pela sinalização imposta estão no topo dos fatores que maior impacto têm nos acidentes em zonas de obras (Bai and Li 2006).

O planeamento dos trabalhos numa obra também têm impacto na circulação. Num estudo levado a cabo por Tang and Chien (2009), foi analisado um cenário de obra, numa estrada com duas faixas de rodagem, nomeadamente uma principal, onde decorre a obra, e uma faixa secundária, de desvio de trânsito (Figura 6).

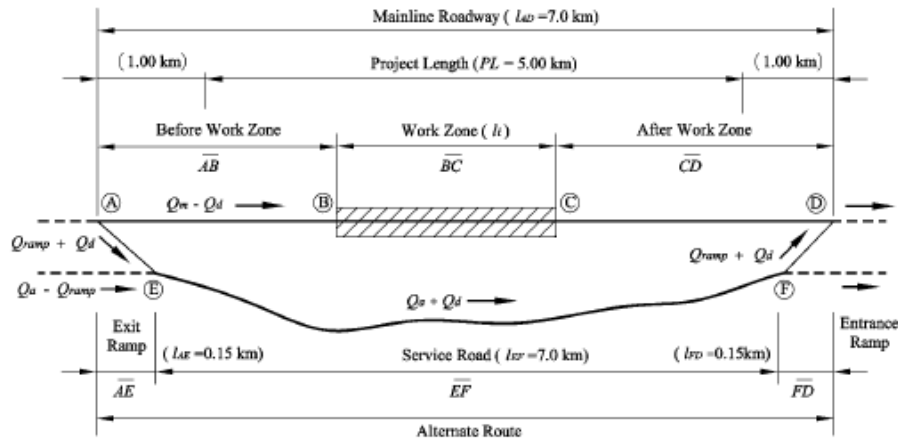


Figura 6 – Configuração da zona de obra abordada no estudo (Tang and Chien 2009)

O estudo teve como objetivo analisar vários fatores associados ao planeamento e execução de uma obra, desde a escolha das equipas de trabalho, tendo em conta a relação custo/rapidez de execução, e o custo associado. Outro fator a ter em conta em relação à necessidade de abertura de uma estrada alternativa à estrada onde se está a desenvolver uma obra é o volume de tráfego, nomeadamente o tráfego médio diário anual.

Quando ocorre congestionamento num determinado intervalo de tempo (j), parte do tráfego opta por circular na via alternativa, que se destina a acolher o tráfego (Q_d) proveniente da estrada principal.

Deste modo, os tempos de viagem na estrada principal e na estrada alternativa podem ser formulados analiticamente como uma função matemática de Q_d^j , tendo por base o volume de tráfego, a capacidade das vias, a velocidade em regime livre e as distâncias entre ramos de ligação das duas vias.

No desenvolvimento deste processo, foram calculados várias componentes, como a função BPR (*Bureau of Public Road*), o tempo de viagem da estrada principal, que se encontra dividida em três segmentos (AB, BC e CD), o tempo de viagem na estrada alternativa, que inclui o desvio AE, que liga a estrada ao segmento EF, e o retorno à estrada através do segmento de acesso FD.

Com o conhecimento obtido acerca do desvio de tráfego, os atrasos ocorridos na estrada principal e na estrada alternativa são formulados de seguida. Para isso são calculados os atrasos relativos à formação de fila de espera na estrada principal, o atraso total na estrada principal e na via alternativa.

O documento elaborado por Tang and Chien (2009) inclui, ainda, o estudo dos custos para os utilizadores associados ao desvio do tráfego numa zona em obras. O custo total é constituído pelos custos de manutenção da obra (material e equipamento), os custos dos trabalhadores, o custo associado às pausas nos trabalhos, os custos para os utentes (atraso), os custos de operação dos veículos e os custos dos acidentes.

De seguida apresenta-se o exemplo (Middlesex Country, New Jersey, 2010) de uma obra de repavimentação, de uma estrada de 5 Km, tendo sido consideradas quatro equipas de trabalho (1 a 4), sendo a equipa 1 a mais barata e mais lenta e a equipa 4 a mais cara e rápida. O volume de tráfego considerado foi de 45000 veículos por dia na estrada principal e de 25000 veículos por dia na estrada alternativa, com uma duração máxima do projeto de 64 dias.

No que diz respeito ao planeamento do horário de trabalho, num primeiro cenário (Tabela 1), a equipa de trabalho faz quatro pausas durante o período de trabalho de 24h. Num segundo cenário (Tabela2) foi considerada apenas uma pausa. A equipa utilizada na obtenção dos resultados seguintes foi a equipa número dois.

Tabela 1 – Cenário A considerado no estudo de (Tang and Chien 2009)

| Cenário A (Sem desvio de tráfego) | | | | | | |
|-----------------------------------|--------------|-----------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Período de trabalho | Início e Fim | Duração (horas) | Comprimento da obra (km) | Custos de manutenção (Dólares) | Custos para os utentes (Dólares) | Custos das paragens (Dólares) |
| 1 | 0:00-7:00 | 7 | 0.909 | 23.712 | 357 | 0 |
| 2 | 7:00-9:45 | 2.75 | Pausa nos trabalhos | 0 | 0 | 2.200 |
| 3 | 9:45-13:30 | 3.75 | 0.318 | 8.949 | 2.188 | 0 |
| 4 | 13:30-18:45 | 5.25 | Pausa nos trabalhos | 0 | 32 | 4.200 |
| 5 | 18:45-7:00 | 12.25 | 1.864 | 47.559 | 1.610 | 0 |
| 6 | 7:00-9:45 | 2.75 | Pausa nos trabalhos | 0 | 0 | 2.200 |
| 7 | 9:45-13:30 | 3.75 | 0.318 | 8.949 | 2.188 | 0 |
| 8 | 13:30-18:45 | 5.25 | Pausa nos trabalhos | 0 | 32 | 4.200 |
| 9 | 18:45-5:30 | 10.75 | 1.591 | 40.746 | 1.136 | 0 |
| Total (por via) | | 53.50 | 5 | 129.915 | 7.543 | 12.800 |

Tabela 2 – Cenário B considerado no estudo de (Tang and Chien 2009)

| Cenário B (Com desvio de tráfego) | | | | | | |
|-----------------------------------|--------------|-----------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Período de trabalho | Início e Fim | Duração (horas) | Comprimento da obra (km) | Custos de manutenção (Dólares) | Custos para os utentes (Dólares) | Custos das paragens (Dólares) |
| 1 | 19:00-7:00 | 12 | 1.818 | 46.424 | 1.419 | 0 |
| 2 | 7:00-10:00 | 3 | Paragem na obra | 0 | 0 | 2.400 |
| 3 | 10:00-5:30 | 19.5 | 3.182 | 80.491 | 10.831 | 0 |
| Total (por via) | | 34.5 | 5 | 126.915 | 12.250 | 2.400 |

A Tabela 3 mostra o plananeamento de obra em ambos os cenários com a equipa três. Como pode observar-se, utilizar a equipa de trabalho número quatro pode levar a custos semelhantes aos verificados quando é utilizado o cenário B, quando na estrada principal o tráfego médio diário anual é superior a 50000 veículos.

Tabela 3 – Resultados obtidos no estudo de (Tang and Chien 2009)

| Cenário | Equipa | Número de períodos de trabalho/intervalos | Custos de manutenção (Dólares) | Custo das paragens (Dólares) | Custo de circulação em fila (Dólares) | Custo de circulação lenta (Dólares) | Custos de acidentes (Dólares) | Custo mínimo do projeto (dólares/via) | Duração do projeto (horas) |
|---------|--------|---|--------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| A | 3 | 3/2 | 129.215 | 5.400 | 4.489 | 4.426 | 306 | 143.836 | 36.50 |
| B | 3 | 3/2 | 129.215 | 4.600 | 2.665 | 4.603 | 190 | 141.273 | 35.50 |
| A | 4 | 3/2 | 134.055 | 6.800 | 1.085 | 3.405 | 83 | 145.428 | 34.00 |
| B | 4 | 3/2 | 134.055 | 5.600 | 1.809 | 3.654 | 131 | 145.249 | 32.50 |

Segundo (Tang and Chien 2009), a comparação do cenário A com o B (desvio de tráfego) permitiu concluir que o cenário B reduziu o custo da circulação (redução da fila de espera na estrada principal), minimizar os custos, uma vez que, reduz a duração da obra devido à diminuição da extensão e configuração da zona de trabalho e diminui o volume de tráfego que circula em marcha lenta.

Para além disso, foi possível concluir que, à medida que o tráfego na estrada principal ultrapassa os 45000 veículos por dia, tornou-se cada vez mais viável a implementação de um desvio, sendo adotado o cenário B em detrimento do cenário A, com a consequente redução dos custos para os utentes da estrada e minimização do atraso da circulação. Esta conclusão poderá ser uma

ajuda importante no estabelecimento de planos de obra, já que permite, através da análise do tráfego existente numa estrada, optar pela implementação de uma solução de desvio do tráfego através da utilização de uma via alternativa.

Na impossibilidade do estabelecimento de desvios, uma outra opção passa pela otimização dos sistemas de alternância de vias, por forma a permitir o estabelecimento de uma circulação mais fluída, rápida e segura nas estradas em obra.

Os sistemas de alternância de vias pode oferecer um aumento significativo da capacidade de uma estrada que se encontre em obras. O objetivo fundamental passa por tirar vantagem das vias inutilizadas (ou bermas) numa direção, reorientando o trânsito na direção oposta, aumentando a capacidade da estrada (Wolshon and Lambert 2006).

No documento elaborado por Wolshon e Lambert (2006) são apresentadas diversas aplicações da técnica de alternância de vias em estradas em obras, alegando que permite manter uma capacidade adequada quando existem restrições de circulação.

Os autores defende que os técnicos responsáveis pela garantia da segurança rodoviária em obra ainda têm algumas reticências em relação à utilização desta técnica, pelo facto de serem promovidas alterações que poderão confundir os condutores pouco familiarizados com este tipo de solução, sendo necessário haver um reforço de pessoal por forma a garantir a segurança dos utentes. No entanto, não existem estudos e fontes suficientes que avaliaram a eficiência em termos de segurança da solução de alternância de vias. O estudo em questão defente que a aposta em sistemas reversíveis tende a reduzir os conflitos entre veículos, devido ao efeito “seguir o líder”.

A técnica estudada por Wolshon and Lambert (2006) pode encontra-se esquematicamente representada em alguns documentos técnicos, nomeadamente no Manual de Sinalização Temporária como por exemplo o da JAE, na parte dos trabalhos fixos numa faixa de rodagem 1x2 (Figura 7).

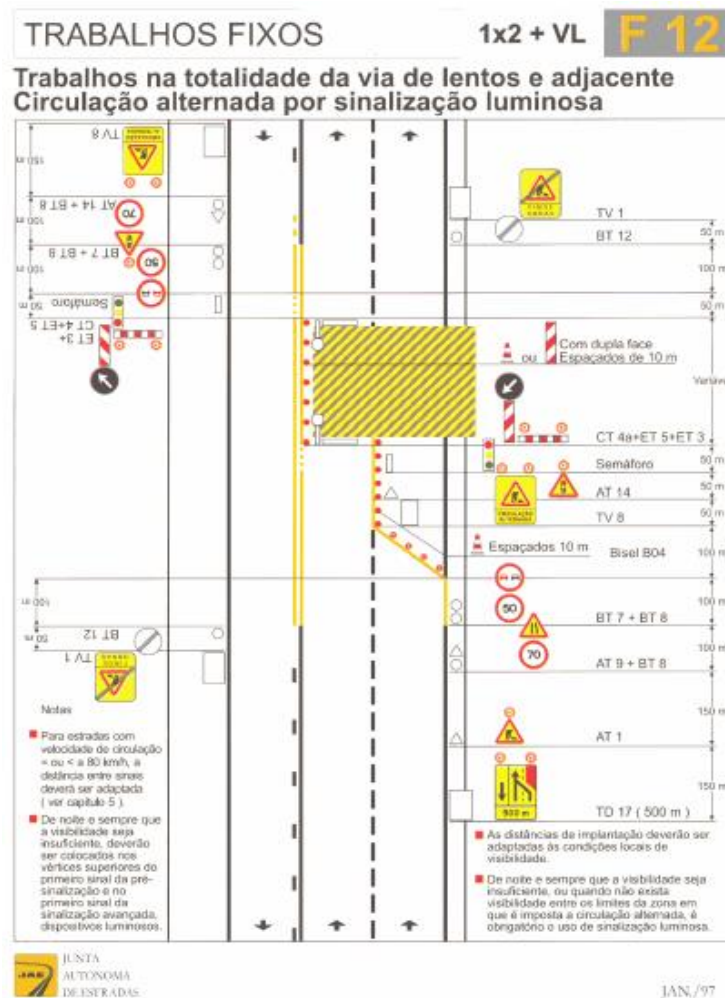


Figura 7 – Alternância de vias num caso de trabalhos fixos (Estradas 1997)

Com o objetivo de minimizar o atraso dos condutores, esta técnica foi ainda apresentada num documento elaborado pelo *Department of Illinois* (Illinois, Department of et al. 2001) numa obra numa ponte, conforme a Figura 8.

O trânsito foi desviado, sendo utilizada uma barreira de betão que era reconfigurada de forma a possibilitar a disponibilização de uma ou duas vias em cada sentido, durante diferentes alturas do dia. Os condutores eram avisados em tempo real do atraso devido à existência da obra na estrada, através da utilização de sinais de informação variável, como é possível observar na Figura 8.



Figura 8 – Alternância de vias e aviso em tempo real do atraso. (Illinois, Department of et al. 2001)

2.3. Modelos existentes para zonas em obra

A análise da segurança numa zona de obra passa pela consideração dos diversos fatores associados aos acidentes nessas zonas.

O desafio não passa por eliminar as obras na estrada, mas sim por reduzir o impacto destas na mobilidade e na segurança. Este objetivo poderá ser alcançado através da aplicação de estratégias de obra, no sentido de diminuir a necessidade de obras e a sua duração, estudando maneiras de melhorar a operacionalidade das mesmas (Battles 2004).

O conhecimento das características do tráfego do local onde decorre a obra representa uma fonte importante para identificar os principais problemas e deficiências do sistema e consequentemente desenvolver soluções. Estudar as características das zonas de acidentes, bem como os acidentes é o primeiro passo para aumentar a segurança nas zonas de obras (Bai and Li 2006).

Nesse sentido, vários estudos foram efetuados, nomeadamente através da aplicação de modelos que permitem, através da utilização de um conjunto de variáveis, prever o risco associado à presença de obras, bem como os custos e atrasos provocados por estas. A maioria dos modelos incorporam uma análise baseada nos dados recolhidos, como tráfego, durações de obra, comprimentos de obra, entre outros (Yang, Ozbay et al. 2015). Desta forma, pode considerar-se a existência de uma conexão entre a obra, a sinistralidade existente, a alteração que esta sofrerá com a implementação de uma obra e os impactos daí provenientes, quer se tratem de impactos sociais ou económicos.

Neste capítulo serão analisados os fatores associados aos acidentes em zonas de obra, com base em vários estudos, por forma a identificar quais as variáveis mais importantes na análise do risco em zonas de obra.

Serão ainda analisados documentos relativos ao cálculo da capacidade de uma estrada em obras, assim como o atraso resultante dessa diminuição da capacidade que poderá originar a formação de filas de espera.

2.4. Modelos de previsão de risco de acidente em zona de obra

De uma forma geral, os estudos efetuados sobre o risco de acidente em estradas em obras sugerem um aumento do risco de acidente nessas mesmas condições. A maioria dos investigadores orientaram os seus estudos para a análise dos dados da sinistralidade com vista a perceber as características dos acidentes em obras de longa duração, como gravidade dos acidentes, probabilidade de acidente, tipo e localização dos mesmos. As conclusões apontam para variações significativas nos resultados, devido a diferenças na localização, tamanho da amostra e qualidade, bem como as diferentes aproximações de estudo (Yang, Ozbay et al. 2015).

De acordo com Yang e Ozbay (2015), a análise do risco de acidentes pode ser feita segundo os três pontos seguintes:

- Análise da segurança da zona de obras;
- Análise da frequência dos acidentes em zonas de obras;
- Análise da gravidade dos acidentes em zonas de obras.

A seguir são abordados os modelos desenvolvidos para zonas de obra de frequência de acidentes e da gravidade de acidentes.

2.5. Modelos de frequência de acidentes

Durante vários anos, foram efetuadas inúmeras análises de frequência de acidentes com o recurso a modelos a distribuição binomial negativa por forma a perceber a relação entre o número de acidentes e os fatores que contribuíram para tal (Mittra and Washington 2007).

Entre esses modelos destaca-se o desenvolvido por Srinivasan, Ullman et al. (2011) para estimar os impactos das construções no número de acidentes totais, dos quais fazem parte os acidentes com feridos, acidentes com vítimas mortais, bem como acidentes somente com danos materiais, e por Ozturk, Ozbay et al. (2013) que desenvolveram um modelo para zonas de obras em New Jersey.

A base de dados dos acidentes contém 60 obras entre os anos 2009 e 2010 tendo sido dividida nas seguintes categorias (Ozturk, Ozbay et al. 2013):

- Acidentes durante o dia somente com danos materiais;
- Acidentes durante o dia com vítimas;
- Acidentes durante a noite somente com danos materiais;
- Acidentes durante a noite com vítimas.

A distribuição do número de acidentes entre 2004 e 2010, pelas respectivas horas do dia, encontra-se representada no gráfico da Figura 9.

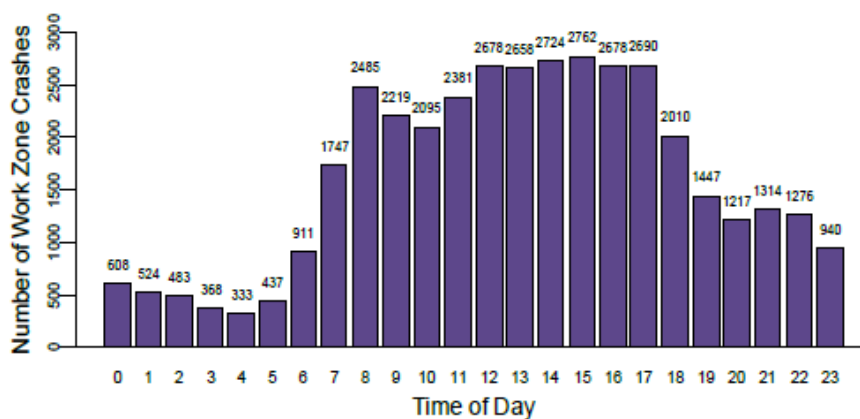


Figura 9 – Distribuição dos acidentes durante o dia (Ozturk, Ozbay et al. 2013)

As variáveis selecionadas para estabelecimento do modelo foram as seguintes:

- Comprimento da zona de obra;
- Condições de visibilidade (noite, dia);
- Volume de tráfego;

- Velocidade praticada na zona de obra;
- Via em funcionamento;
- Via cortada;
- Redução da velocidade;
- Sistema viário;
- Inclinações;
- Interseções;
- Duração da obra.

Foram estabelecidos dois modelos válidos, um em que a duração de obra é considerada (Eq.1) e outro caso em que esta não é considerada (Eq.2).

$$\begin{aligned}
 crash_{count} = \exp(\beta_0) + \ln(\text{comprimento})^{\beta_1} + \beta_2 \text{noite} + \ln(\text{tráfego})^{\beta_3} \\
 + \beta_4 \text{velocidade zona obra} + \beta_5 \text{via em func} + \beta_6 \text{via cortada} \\
 + \beta_7 \text{redução vel} + \beta_8 \text{sistema viário} + \beta_9 \text{inclinações} \\
 + \beta_{10} \text{intersec} + \ln(\text{duração da obra})^{\beta_{11}}
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 crash_{count} = \exp(\beta_0) + \ln(\text{comprimento})^{\beta_1} + \beta_2 \text{noite} + \ln(\text{tráfego})^{\beta_3} \\
 + \beta_4 \text{velocidade zona obra} + \beta_5 \text{via em func} + \beta_6 \text{via cortada} \\
 + \beta_7 \text{redução vel} + \beta_8 \text{sistema viário} + \beta_9 \text{inclinações} \\
 + \beta_{10} \text{intersec}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Com base na análise dos modelos concluiu-se que a duração da obra, o comprimento da zona de obra e o volume de tráfego são as variáveis que mais contribuem para o aumento da frequência de acidentes em zonas de obras. O encerramento de vias demonstrou ser um fator agravador do número de acidentes com danos materiais e com feridos. O excesso de velocidade dentro da zona de trabalho e o número de inclinações nas imediações de interseções contribuem para o aumento de acidentes com danos materiais.

Outro estudo conduzido por Yang, Ozbay et al. (2013) que considera a medição do erro associada ao comprimento de obra, na previsão do número de acidentes com danos materiais e com feridos em estradas em obras chegou a conclusões semelhantes às apresentadas por Ozturk, Ozbay et al. (2013). Sendo o comprimento da zona de obra uma variável importante na

determinação do número de acidentes (Nemeth and Migletz 1978) importa perceber as suas implicações no risco de acidente numa zona em obras.

As variáveis utilizadas neste estudo foram as mesmas utilizadas por Ozturk, Ozbay et al. (2013) com a exceção da duração da obra, que não foi considerada. Em vez da duração, Yang, Ozbay et al. (2013) assumiram a contagem dos acidentes na zona de trabalhos a cada 3 meses como uma variável de entrada para estabelecimento do modelo.

Como conclusões, o estudo efetuado por Yang, Ozbay et al. (2013) sugere que tanto o comprimento da zona de obras como o volume de tráfego são fatores bastante potenciadores da ocorrência de acidentes, à semelhança do que foi verificado no estudo anteriormente referido, levado a cabo por Ozturk, Ozbay et al. (2013). Os resultados do novo modelo estudado sugerem ainda uma redução na probabilidade de acidente no período noturno de 48%, nos acidentes com danos materiais, e de 80% nos acidentes com vítimas, o que poderá dever-se, segundo o autor, à existência de menores volumes de tráfego neste período e consequentemente, menor interação entre veículos.

O número de vias disponíveis e o número de vias cortadas devido a obras em estradas afetam ambos os tipos de acidentes em estudo (com danos materiais e com feridos), provocando ambas um aumento da frequência de acidentes. O estudo efetuado permitiu concluir que um aumento do número de vias pode aumentar a frequência de ambos os tipos de acidentes. Tal deve-se a fenómenos mais complexos como o aumento das interações (como por exemplo, a mudança de faixa).

No que diz respeito ao limite de velocidade imposto, no estudo em questão defende-se que quando a presença de uma zona de trabalho não afeta de forma séria as condições de circulação, um relativo aumento do limite de velocidade, ou a velocidade normal de circulação devem ser instituídos na zona de trabalhos.

O tipo de via onde se desenvolvem as obras tem influência na percentagem de acidentes, sendo tanto as estradas urbanas, como vias rápidas, responsáveis por um maior número de acidentes. Variáveis como o número de interseções ou número de rampas foram abordadas no estudo, porém revelaram ter pouca significância estatística.

A Tabela 4 apresenta um resumo dos resultados apresentados no estudo efetuado por Yang.

Tabela 4 – Resumo dos resultados obtidos no estudo efetuado por Yang, Ozbay et al. (2013)

| | |
|--|--|
| Referência | (Yang, Ozbay et al. 2013) |
| Modelos utilizados | Binomial negativa, Medição do Erro da Binomial Negativa (MENB) |
| Variáveis utilizadas | |
| Tráfego médio diário anual | Aumento de 1% no volume de tráfego → aumento de 4.93% e 1.84% nos acidentes com danos materiais e nos acidentes com feridos, respetivamente. |
| Comprimento da obra | Aumentando 1% no comprimento da obra → aumento de 0.75% nos acidentes com danos materiais e de 0.87% nos acidentes com feridos. |
| Vias disponíveis e vias cortadas | Aumento do número de vias pode aumentar a frequência de ambos os tipos de acidentes. |
| Limite de velocidade na zona de trabalhos | Limite de velocidade aumenta em 1% → frequência de acidentes com danos materiais é reduzida em cerca de 1.45%. |
| Sistema viário e condições de luminosidade | Durante o período da noite, a frequência de acidentes com danos materiais ou com feridos é reduzida em 48% e 80%, respetivamente. |

A previsão do número de acidentes em autoestradas rurais foi também estudada por Venugopal and Tarko (2000). O autor abordou os acidentes dentro da zona de obras e os acidentes na aproximação às mesmas.

A recolha de dados dividiu-se em três categorias, com as respetivas informações retiradas:

- Caraterísticas da zona de obra;
- Caraterísticas dos acidentes;
- Caraterísticas do tráfego e da estrada.

As variáveis identificadas por Venugopal and Tarko (2000) como potenciais fatores para a ocorrência de acidentes em zonas de obras foram:

- Custo do projeto (C) representa o total pago aos projetistas. Esta variável é utilizada para calcular a intensidade do trabalho. A intensidade do trabalho pode ser estimada como $custo/(duração*comprimento\ da\ obra)$;

- Tráfego médio diário anual (Q), obtidos tanto para a aproximação da obra como para o interior da mesma;
- Ramos de ligação nos segmentos da zona de trabalho e nas aproximações à mesma, representados pelas variáveis R_2 (número de ramos de ligação a uma distância de 3.2 Km ou menos em relação à zona de obras); R_{10} (número de ramos de ligação a uma distância entre 3.2 e 16 Km na aproximação à zona de trabalhos); R_{ON} e R_{OFF} , representam, respetivamente o número de ramos na aproximação das obras ou dentro da zona de trabalho;
- Comprimento da zona de obra (L), medida em Km;
- Duração da obra (T), representa o número de dias em que a construção tem lugar;
- Tipo de trabalho (W), como por exemplo reabilitação rodoviária, pavimentação e outros trabalhos (J), reparação e reabilitação de pontes (C) e pintura de marcas e instalação de sinais (V);

É plausível considerar que para acidentes nas aproximações à zona de obras, o comprimento L não representa um fator de risco, e esta variável foi então introduzida dentro da função exponencial. O custo da obra não foi considerado na elaboração da expressão, sendo a duração colocada no seu lugar. Foi definido um modelo para acidentes em obras (Eq.3) e outro para acidentes na aproximação à zona de obras (Eq.4):

- Acidentes na zona de obras:

$$A = K(Q)^{\beta_1} * (T)^{\beta_2} * (L)^{\beta_3} * \exp(\gamma_1 * \left(\frac{C}{LT}\right) + \gamma_2 W + \gamma_3 R_{on} + \gamma_4 R_{off}) \quad (3)$$

- Acidentes na aproximação à zona de obras:

$$A = K(Q)^{\beta_1} * (T)^{\beta_2} * \exp(\gamma_1 L * \gamma_2 \left(\frac{C}{LT}\right) + \gamma_3 W + \gamma_4 R_2 + \gamma_5 R_{10} + \gamma_6 R_{on} + \gamma_7 R_{off}) \quad (4)$$

Onde:

A= Número de acidentes na aproximação ou dentro da zona de obras;

Q= Tráfego médio diário anual;

L= Comprimento da zona de obra;

T= Duração da obra;

K= Parâmetro de inclinação;

X_i = Variáveis explicativas (R_2 , R_{10} , R_{ON} , R_{OFF} , C/LT, W etc);

β_i, γ_i = Coeficientes relativos às variáveis;

C/LT= Variável explicativa que representa a intensidade do trabalho; (Referente a modelo para acidentes na aproximação à zona de obras);

W= Variável binária para o tipo de trabalho, 1 para trabalhos na estrada, 0 para trabalhos fora da estrada. (Referente a modelo para acidentes na aproximação à zona de obras).

Segundo Venugopal and Tarko (2000), o volume de tráfego demonstrou ser o fator mais importante no que diz respeito aos acidentes durante uma intervenção viária. Com um coeficiente perto de 1, pode-se concluir que existe uma relação linear entre o volume de tráfego e o número de acidentes.

Quanto ao comprimento da zona de obra, revelou ser uma variável importante no que diz respeito aos acidentes na zona de obras, não sendo tão importante no cálculo dos acidentes na aproximação às zonas em obra. Ainda a respeito do comprimento da obra, Venugopal and Tarko (2000) defendem que quanto mais curta for a zona de trabalhos, mais propensa será à ocorrência de acidentes na aproximação à obra. Os autores sugerem que o comprimento da zona de trabalhos poderá representar o efeito de outros fatores omissos no modelo, como por exemplo a sinalização temporária, que tem um grande impacto na forma como a obra é abordada pelo condutor, assim como a manutenção da obra. Em obras com comprimentos consideráveis, o controlo do tráfego é mais intensivo do que nas obras com comprimentos menores (Venugopal and Tarko 2000).

Através do modelo foi possível concluir que os acidentes não aumentam linearmente com a duração da obra. O crescimento do número de acidentes à medida que a duração da obra vai aumentando tende a ser menor. Se a duração de uma obra for grande, a familiaridade dos condutores para com a obra tende a aumentar, o que levará a uma condução mais segura por parte destes.

O efeito da presença de ramos de ligação verificou-se insignificante tanto nos acidentes na zona de obras como na aproximação às mesmas.

O tipo de trabalho não revelou ser uma variável importante nos acidentes na aproximação às obras. O autor refere que se tratou de um resultado surpreendente uma vez que este assumiu que o encerramento de uma via teria um forte impacto neste tipo de acidentes. No entanto, a variável demonstrou ter maior significância nos acidentes somente com danos materiais no interior das zonas de trabalho. Usualmente, longos comprimentos de obra, com vias cortadas, causam desconforto aos condutores o que pode aumentar o risco de acidentes.

Num outro estudo elaborado por Sun, Edara et al. (2014), as variáveis relativas ao tráfego, duração da obra e comprimento de obra, foram utilizadas para a elaboração de um modelo. Seguindo um modelo binomial similar ao utilizado pelo modelo do *Highway Capacity Manual*, o autor apresentou uma expressão para acidentes mortais ou com feridos, e ainda uma outra para acidentes sem feridos, fazendo variar os coeficientes (β_1 a β_6), calibrados no mesmo documento (Tabela 5).

Tabela 5 – Coeficientes utilizados no modelo de Sun, Edara et al. (2014)

| Coeficientes | β_1 (Tráfego) | β_2 (Duração) | β_3 (Comprimento) | β_4 (Fator Urbano) | β_5 (Zona de obra) | β_6 |
|---------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|
| Vítimas Mortais e feridos | 1.0051 | 0.9769 | 0.5882 | 0.7462 | 0.1387 | -14.8124 |
| Sem feridos | 0.9566 | 1.0148 | 0.5794 | 0.7009 | 0.2007 | -13.3528 |

Foram ainda adicionados aos modelos as variáveis relativas ao local da obra, quer se trate de uma zona urbana ou não e ainda a presença da obra. Sendo assim, a expressão para ambos os casos é a seguinte:

- Número de acidentes fatais/com feridos e número de acidentes sem feridos

$$N = AADT^{B1} * D^{B2} * L^{B3} * e^{B4urban} * e^{B5WZ} * e^{B6} \quad (5)$$

Numa outra análise, Khattak, Khattak et al. (2002) desenvolveu um modelo de acidentes com feridos e sem feridos em zonas de obras na estrada. As variáveis utilizadas no modelo seguiram a linha das variáveis já utilizadas ((Ozturk, Ozbay et al. 2013);(Yang, Ozbay et al. 2013);(Venugopal and Tarko 2000);(Qi, Srinivasan et al. 2005)), caso dos dados relativos ao tráfego (tráfego médio diário anual), a localização da obra, comprimento da mesma e duração. No documento pode observar-se a utilização de uma outra variável, que representa a exposição

(interação) entre as variáveis duração da obra, comprimento e tráfego médio diário anual, que pode ser calculada por $TMDA * comprimento da obra * duração / 10^6$ (MVKM).

Após o desenvolvimento dos parâmetros relativos a cada variável envolvida, o modelo pode ser escrito como:

$$Y = (x1)^{1.2659} * (x2)^{1.1149} * (x3)^{0.6718} * \exp(-0.2257x4) * \exp(-0.5126x5) * \exp(0.1988x6) * \exp(-17.7748) \quad (6)$$

Onde Y representa o número esperado de acidentes num dado período de tempo num segmento de obra; x1 é o tráfego médio diário da zona de obra (veículos por dia); x2 representa a duração da observação (dias); x3 é o comprimento da zona de trabalho (km); x4 é igual a 1 quando a estrada é urbana e 0 caso contrário; x5 é igual a 1 quando o acidente origina feridos e 0 caso contrário; x6 é igual a 1 quando o acidente é registado durante os trabalhos na estrada e 0 caso contrário (antes das obras).

As conclusões foram divididas da seguinte forma:

- Acidentes sem feridos antes e durante a elaboração das obras;
- Acidentes com feridos antes e durante a elaboração das obras;

No que diz respeito aos acidentes sem feridos antes da implementação das obras, maiores períodos de observação resultarão numa maior frequência de acidentes. O aumento do tráfego médio diário anual, bem como do comprimento de obra levam ao aumento da frequência de acidentes. O parâmetro estimado para o comprimento de obra (0.6291) é menor do que a unidade, o que implica que a relação entre a frequência de acidentes e o comprimento da obra não é diretamente proporcional. O modelo indica ainda a existência de significância estatística entre os acidentes sem feridos e as obras em zonas urbanas.

No que toca aos acidentes sem feridos durante o período de obras, maiores durações de obra estão associados a um maior número de acidentes sem feridos, no entanto, em contraste com o verificado no período pré-obra, o parâmetro estimado é superior à unidade (1.2317).

À semelhança do verificado, maiores comprimentos de obra estão associados a uma maior frequência de acidentes. Quando o tráfego aumenta, o número de acidentes sem feridos também aumenta durante o período de obras. O indicador da variável referente à localização da obra demonstrou não ter suficiente significância estatística.

Nos acidentes com feridos, quer no período pré-obra, quer durante o período de obras, o aumento da duração e comprimento da obra bem como do TMDA levam a um aumento da frequência de acidentes.

Como conclusão, e indo de encontro ao que foi defendido por Yang, Ozbay et al. (2013), Ozturk, Ozbay et al. (2013), Khattak, Khattak et al. (2002), Venugopal and Tarko (2000) e Sun, Edara et al. (2014), o tráfego, o comprimento de obra e a duração dos trabalhos demonstram ser as variáveis mais significativas no que diz respeito aos acidentes em obras. Conjuntamente, Venugopal e Tarko (2000) referem que tanto o custo da obra como o tipo de obra representam variáveis importante no que aos acidentes dentro da zona de trabalhos diz respeito.

Grande parte dos estudos indicaram que o tipo de acidente mais frequente nas estradas em obras é o de tipo frente-traseira (Figura 10),[(Yang, Ozbay et al. 2015); (Chambless, Ghadiali et al. 2002); (Wang, Hughes et al. 1996)].

Nesse sentido foi desenvolvido um estudo por Qi, Srinivasan et al. (2005), onde foram alvo de análise os acidentes deste tipo.



Figura 10 – Imagens representativas da colisão frente-traseira

As variáveis consideradas na modelação foram: tipo de obra; tipo de sinalização e dispositivos de controlo de tráfego; desenho da obra; corte de via; duração da obra; localização das interseções; localização da obra; tráfego médio diário anual.

Os tipos de trabalhos considerados vão desde as obras em pontes, a trabalhos de manutenção, repavimentação e aumento de segurança da estrada. Podem ser identificados dois tipos de controlo de tráfego, nomeadamente o controlo com utilização de bandeiras ou através da utilização de setas direcionais (Figura 11). São ainda tidos em conta diferentes cortes de via, desde o corte parcial da via até o seu corte total.



Figura 11 – Controlo através da utilização de setas direcionais

Segundo Qi, Srinivasan et al. (2005), devido ao facto do número de acidentes frente-traseira poder ser diferente consoante o tipo de interseção, foi introduzida a variável “intersec”. O volume de tráfego foi incluído como potenciador dos acidentes frente-traseira. Foram definidos cinco níveis de tráfego médio diário anual por forma a indicar os diferentes volumes de tráfego nas obras em análise.

As conclusões retiradas pelo autor após a calibração do modelo são as seguintes:

- As obras de aumento de capacidade e repavimentação estão associadas a uma maior frequência de acidentes do tipo frente-traseira quando comparadas com os restantes tipos de obras. O tipo de obras com maior frequência de acidentes são, em ordem decrescente: aumento de capacidade, repavimentação, aumento das condições de segurança, pontes, conservação e instalação de dispositivos na estrada;
- Tendo em conta os dois tipos de controlo de tráfego investigados, o controlo através de bandeiras demonstrou estar associado a uma maior frequência do tipo de acidente em análise, quando comparado com o controlo através de setas direcionais;
- Considerando os tipos de cortes de via, o corte total ou parcial da via demonstrou estar associado a um maior número de acidentes frente-traseira quando em comparação com o corte de berma ou trabalhos fora da berma;
- Trabalhos móveis de curta duração afirmaram-se como tendo uma influência considerável na ocorrência de acidentes. Quando este tipo de obra ocorre, ocorrem relativamente menos acidentes do tipo frente-traseira. Tal poderá dever-se ao facto de existir uma limitada exposição por parte dos condutores a este tipo de operação;

- Os trabalhos em interseções não estão necessariamente associados a um maior número de acidentes quando comparados com outras localizações. É provável que os condutores tomem mais precauções ao circular em zonas de interseções, bem como o número de obras em interseções é muito menor do que o número de obras em locais onde estas não existem;
- Obras em contexto urbano ou artérias principais em contexto rural são mais suscetíveis a ocorrência de acidentes do tipo em análise em comparação com as restantes classes de estradas. Tal poderá estar associado ao volume de tráfego, que é maior nestas classes de estradas;
- Tal como esperado, um aumento do tráfego médio diário anual levará a um aumento do número de acidentes frente-traseira.

2.6. Taxa de acidentes em zonas de obras

Os efeitos da presença de obras na estrada nos acidentes com e sem feridos também foram investigados por Khattak, Khattak et al. (2002), baseando-se no conceito de taxa de acidentes. Através de 72 observações (36 antes do período de obras e 36 durante o período de obras), com um comprimento de observação de 242.67 Km e uma média de comprimentos de obra de 6.73 Km, onde 117.66 Km dos 242.67 Km se localizam em áreas urbanas e as restantes em áreas rurais, o autor do documento calculou a taxa de acidentes antes e durante a execução das obras a partir da expressão 7.

$$CR = \frac{\sum T}{\sum \frac{A * L * D}{10^6}} \quad (7)$$

Onde T é o número total de acidentes na zona de obras, A representa o tráfego médio diário, L o comprimento da zona de obra, em Km e D a duração da observação, em dias.

Sumariamente, a taxa de acidentes aumenta durante o período de obras, quando comparada com o período antes da execução das obras, havendo um maior aumento na taxa dos acidentes sem feridos em comparação com os acidentes com feridos (Khattak, Khattak et al. 2002).

No entanto, o autor afirma que as taxas de acidente não fornecem uma evidência estatística concisa, o que pode ser atribuído a uma amostragem relativamente pequena.

O conceito de taxa de acidente foi ainda abordado por See (2008), no entanto, a expressão para o cálculo da taxa de acidentes (Eq.8) é diferente da apresentada por Khattak, Khattak et al. (2002):

$$R = \frac{A * 1000000}{V * T} \quad (8)$$

Onde A representa o número de acidentes no local de estudo, V o volume de tráfego no local em estudo, seja tráfego médio diário ou tráfego médio diário anual e T representa o número de dias em que decorre o estudo na zona de obra.

Neste estudo conduzido por See (2008), é comparado o tradicional corte de via direita com o sistema em “onda”, como ilustrado na Figura 12.

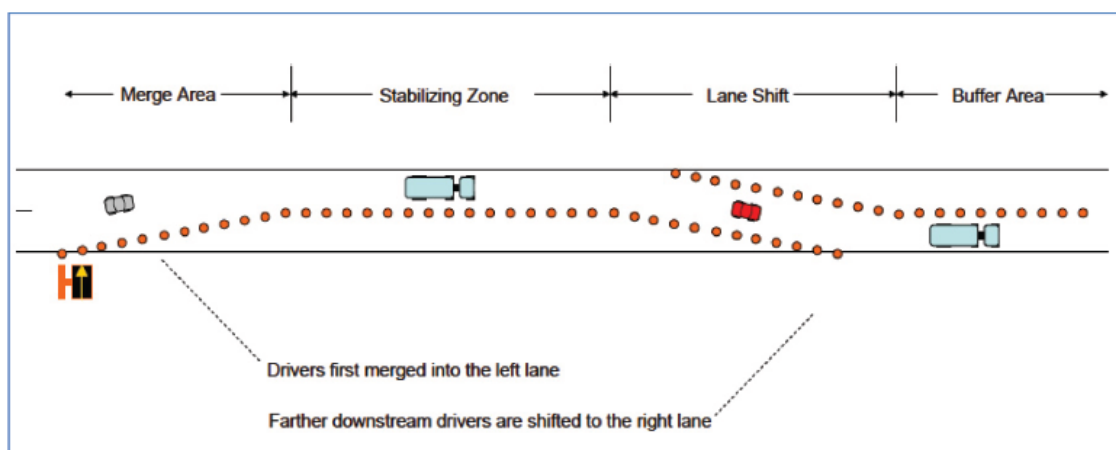


Figura 12 – Desenho de obra do tipo “onda”

A taxa de acidente revela que a probabilidade de ocorrência de acidente utilizando este desenho em contraste com o tradicional encerramento de faixa direita leva a uma redução de cerca de 30% nas hipóteses de envolvimento em acidente em zona de obra.

A taxa de acidentes em autoestradas foi alvo de estudo por parte de Rouphail, Yang et al. (1988) que concluiu a existência de um aumento da taxa de cerca de 88% na presença de obras na estrada, em comparação com o período pré-obra, sendo que essa mesma taxa sofre uma redução de 34% após o término das obras. Para obras de curta duração, uma taxa de 0.8 por milha por dia de obra de construção ou conservação foi também observada neste estudo.

No documento elaborado por Yang, Ozbay et al. (2015), pode encontrar-se um gráfico (Figura 13) que resume o resultado dos estudos sobre impacto das obras na estrada na taxa de acidentes.

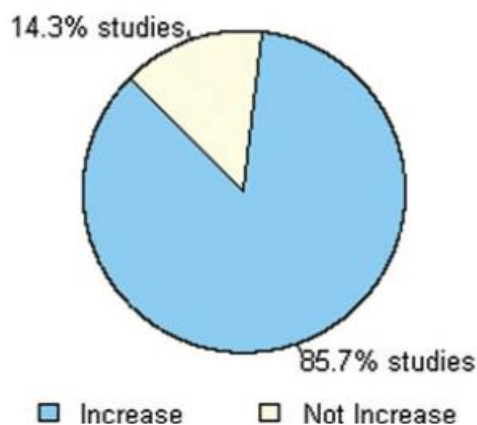


Figura 13 – Gráfico de resumo dos resultados obtidos em diversos estudos acerca do impacto das obras na taxa de acidentes (Yang, Ozbay et al. 2015)

Através da análise do gráfico pode concluir-se que 85.7% dos estudos afirmam que a presença de obras promove um aumento da taxa de acidentes. Pelo contrário, 14.3% afirma que a presença de obras na estrada não tem influência na taxa de acidentes.

2.7. Modelos de gravidade das vítimas de acidentes em zonas de obra

A segurança das zonas de trabalhos na estrada pode ser afetada pela combinação de diversos fatores, sendo que alguns destes efeitos, quando combinados, podem não ser tomados em linha de conta quando se efetuam os desenhos das zonas de obra. Perceber os riscos associados pode ser a chave para reduzir a gravidade dos acidentes (Li and Bai 2008).

Os modelos de gravidade de acidente são utilizados para determinar o risco associado a um acidente numa zona de obra e consequências para os condutores. De seguida serão apresentados alguns documentos, onde são estudados os fatores mais importantes na definição da gravidade de um acidente numa zona de obra.

Num documento elaborado por Yang, Ozbay et al. (2015), pode encontrar-se um gráfico (Figura 14) que resume os estudos efetuados acerca da influência das obras na gravidade dos acidentes.

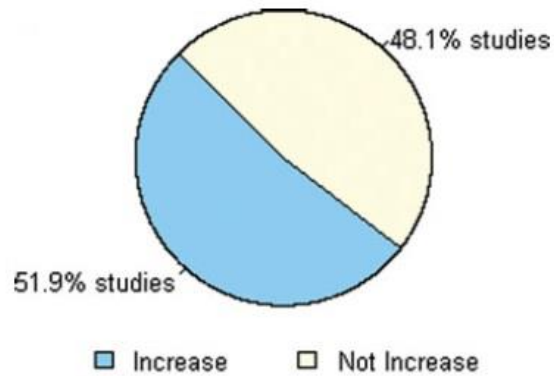


Figura 14 – Resumo dos resultados obtidos por vários estudos acerca da influência das obras na gravidade dos acidentes (Yang, Ozbay et al. 2015)

Como pode observar-se, cerca de metade dos estudos dizem haver um aumento da gravidade dos acidentes com a existência de obras na estrada, contrastando com a restante metade que afirma que as obras na estrada não promovem um aumento da gravidade dos acidentes.

Num estudo elaborado por Weng and Meng (2011), as zonas de trabalho tiveram a particularidade de ser divididas em três tipos: construção; conservação; zonas de trabalhos rápidos, como se pode ver na Figura 15.

As obras de construção podem ser caracterizadas por terem uma duração superior a três dias, com eventuais trabalhos no período noturno. Já as obras de conservação e trabalhos rápidos caracterizam-se por menores durações.



Figura 15 – Imagens representativas de uma obra de construção, conservação e trabalhos rápidos, respetivamente (Weng and Meng 2011)

Segundo Weng e Meng (2011), o objetivo do estudo passa por analisar o risco para o condutor das obras na estrada, assim como os efeitos que contribuem para esse mesmo risco, nas obras de construção, conservação e trabalhos rápidos.

Para tal foi aplicado um modelo binário de regressão linear por forma a desenvolver um modelo de gravidade para cada tipo de zona de obra.

As variáveis utilizadas por Weng and Meng (2011) bem como a descrição das mesmas para a elaboração do modelo foram as que se encontram apresentadas na Tabela 6:

Tabela 6 – Variáveis utilizadas no estudo de Weng and Meng (2011)

| | |
|-------------------------------------|---|
| Tempo | Limpo; Chuva; Neve e nevoeiro. |
| Dia da semana | Semana; Fim de semana |
| Condições de luminosidade | Dia; Noite sem iluminação; Noite com iluminação; Escuridão. |
| Limite de velocidade | <45 mph; 45-60 mph; >60mph |
| Dispositivos de controlo de tráfego | Sim; Não |
| Condições superficiais da estrada | Seco; Molhado; Outro (neve/areia) |
| Alinhamento da estrada | Reta; Curva |
| Número de vias | Número de vias atual |
| Idade do condutor | Jovem (<30); Meia idade (30-60); Idoso (>60) |
| Género | Masculino; Feminino |
| Disponibilidade do airbag | Com airbag; Sem airbag |
| Uso de cinto | Sim; Não |
| Presença de veículos pesados | Sim; Não |
| Idade do veículo | 0-5 anos; 5-10 anos; 10-15 anos; >15 anos |
| Tempo de aviso | Tempo real de aviso |
| Caso mais gravoso | Acidente com veículo/peão; Capotamento; Outro (colisão com objeto, poste) |

Os resultados da aplicação do modelo demonstram que o risco para o condutor numa obra de construção aumenta com as seguintes variáveis: limite de velocidade, alinhamento da estrada, número de vias, idade do condutor, género, presença de veículos pesados, idade dos veículos, tempo de aviso e caso mais gravoso. Os coeficientes associados ao dia da semana, condições de luminosidade, presença de dispositivos de controlo de tráfego, disponibilidade do airbag e uso de cinto indicam que estas variáveis estão associadas a um decréscimo do risco de acidente nas obras de construção na estrada.

Similarmente, numa estrada com trabalhos de conservação, as variáveis que contribuem para o aumento do risco para o condutor incluem o alinhamento da estrada, a idade, presença de veículos pesados, idade do veículo, tempo de aviso e caso mais gravoso. Os dispositivos de controlo de tráfego, uso de cinto e disponibilidade do airbag demonstraram provocar uma redução do risco para o condutor.

Em trabalhos rápidos, a condição da superfície da estrada, alinhamento da estrada, número de vias, idade do condutor, idade do veículo e tempo de aviso aumentam o risco para o condutor quando vítima de acidente.

Uma análise mais aprofundada, feita por Weng and Meng (2011), ajuda a perceber melhor a influência destas no risco para os condutores na ocorrência de acidentes, dividindo a análise dos resultados em quatro categorias:

- Caraterísticas ambientais;
- Caraterísticas da estrada;
- Caraterísticas do condutor;
- Caraterísticas do acidente.

Nas obras de construção, o risco de acidente é 3% menor durante a semana em relação ao fim de semana, condição que não se verifica nas obras de conservação ou zona de trabalhos rápidos, onde o risco durante os dias da semana é superior em 9% e 20%, respetivamente.

Quanto à contribuição das condições de iluminação, nas obras de construção, verifica-se que o risco de acidente é menor durante a noite (menos 12%), enquanto nas obras de manutenção o risco é mais elevado (cerca de 17%) durante o período noturno. Tais efeitos podem dever-se ao facto de serem sempre usados sinais refletivos nas obras de construção, o que nem sempre se verifica nas obras de manutenção.

O limite de velocidade apresenta apenas significância estatística nas obras de construção, e segundo o estudo efetuado, limites de velocidade elevados aumentam o risco para o condutor. Uma razão possível para o limite de velocidade não possuir significância estatística nas restantes obras pode dever-se ao facto do limite de velocidade funcionar corretamente com outros fatores, como por exemplo a intensidade do tráfego.

A presença de sinalização temporária reduz significativamente o risco de acidente em todos os tipos de obras. A redução do risco de acidente é de 14% quando usada nas operações de construção e de 21% quando usada em obras de conservação. Nas zonas de trabalhos rápidos nem sempre é utilizada sinalização temporária.

No que diz respeito às características da estrada, as obras efetuadas em desenvolvimentos em curva mostraram aumentar o risco de acidente em 33%, 84%, 182%, nas obras de construção, conservação e zonas de trabalhos rápidos, respetivamente.

O aumento do número de vias poderá levar a um aumento do risco de acidente, fator explicado pelo facto de serem aumentados os conflitos entre veículos. Segundo o estudo em análise, este fator não tem, no entanto, impacto substancial no risco de acidente em obras de conservação.

Quanto às características dos condutores, pode ver-se que o sexo feminino apresenta maior risco de acidente nas obras de construção e zonas de trabalhos rápidos. Este aumento do risco de acidente resulta de dois fatores: (1) Aumento do risco com condutoras recentes; (2) Risco devido à exposição a condutoras mais idosas (Kostyniuk, Molnar et al. 2000).

Um resumo da influência das variáveis pode ser observado nas Tabelas 7, 8 e 9.

Tabela 7 – Resumo dos resultados obtidos no estudo efetuado por Weng and Meng (2011) em obras de construção (continua)

| | |
|--|--|
| Referência | (Weng and Meng 2011) |
| Modelos utilizados | Regressão logística |
| Variáveis utilizadas (Obras de construção) | |
| Tempo | Não possui significância estatística. |
| Dia da semana | Risco de acidente é 3% menor durante a semana. |
| Condições de luminosidade | Menor risco durante o período da noite. |
| Limite de velocidade | Elevadas velocidades aumentam risco de acidente. |

| | |
|------------------------|---|
| Alinhamento da estrada | Desenvolvimentos em curva aumentam o risco de acidente. |
| Número de vias | Aumento do número de vias leva a maior risco de acidente. |

| | |
|--|--|
| Referência | (Weng and Meng 2011) |
| Modelos utilizados | Regressão logística |
| Variáveis utilizadas (Obras de construção) (Continuação) | |
| Idade do condutor | Meia-idade é a faixa mais suscetível a acidentes. |
| Sexo do condutor | Mulheres têm maior risco de acidente. |
| Fiabilidade do airbag | Airbag contribui para a redução da severidade do acidente. |
| Envolvimento de automóveis pesados | Aumenta o risco de acidente consideravelmente. |
| Idade do veículo | Veículos com 5-10 anos têm maior risco de acidente. |
| Dispositivos de controlo de trânsito | A presença destes dispositivos reduz o risco de acidente. |
| Condições da superfície da estrada | Não possui significância estatística. |

Tabela 8 – Resumo dos resultados obtidos no estudo efetuado por Weng and Meng (2011) em obras de conservação (Continua)

| | |
|---|---|
| Referência | (Weng and Meng 2011) |
| Modelos utilizados | Regressão logística |
| Variáveis utilizadas (Obras de conservação) | |
| Tempo | Não possui significância estatística. |
| Dia da semana | Maior risco de acidente durante a semana. |
| Condições de luminosidade | Maior risco de acidente durante o período noturno. |
| Limite de velocidade | Não possui significância estatística. |
| Dispositivos de controlo de trânsito | A presença destes dispositivos reduz o risco de acidente. |
| Condições da superfície da estrada | Não possui significância estatística. |
| Alinhamento da estrada | Risco de acidente é mais elevado em curva. |
| Número de vias | Não possui significância estatística. |
| Idade do condutor | Meia-idade é a faixa mais suscetível a acidentes. |

| | |
|-----------------------|--|
| Sexo do condutor | Maior risco de acidente nos homens. |
| Fiabilidade do airbag | Airbag contribui para a redução da severidade do acidente. |

| | |
|---|---|
| Referência | (Weng and Meng 2011) |
| Modelos utilizados | Regressão logística |
| Variáveis utilizadas (Obras de conservação) (Continuação) | |
| Envolvimento de automóveis pesados | Aumenta o risco de acidente consideravelmente. |
| Idade do veículo | Veículos com 5-10 anos têm maior risco de acidente. |

Tabela 9 – Resumo dos resultados obtidos no estudo efetuado por Weng and Meng (2011) em trabalhos rápidos

| | |
|---|--|
| Referência | (Weng and Meng 2011) |
| Modelos utilizados | Regressão logística |
| Variáveis utilizadas (Zonas de trabalhos rápidos) | |
| Tempo | Boas condições de visibilidade (céu limpo) diminuem o risco de acidente. |
| Dia da semana | Maior risco de acidente durante a semana. |
| Condições de luminosidade | Menor risco durante o período da noite. |
| Limite de velocidade | Não possui significância estatística. |
| Dispositivos de controlo de trânsito | A presença destes dispositivos reduz o risco de acidente. |
| Condições da superfície da estrada | Más condições da superfície aumentam o risco de acidente. |
| Alinhamento da estrada | Risco de acidente é mais elevado em curva. |
| Número de vias | Aumento do número de vias leva a maior risco de acidente. |
| Idade do condutor | Não possui significância estatística. |
| Sexo do condutor | Mulheres possuem maior risco de acidente. |
| Fiabilidade do airbag | Airbag contribui para a redução da severidade do acidente. |
| Envolvimento de automóveis pesados | Aumenta o risco de acidente consideravelmente. |
| Idade do veículo | Veículos com 5-10 anos têm maior risco de acidente. |

Sete variáveis (alinhamento da estrada, presença de veículos pesados, acidente mais gravoso, presença de dispositivos de controlo do tráfego, uso de cinto e idade do veículo) demonstraram ter um impacto significativo no risco para o condutor, quando sujeito a acidente em qualquer um dos três tipos de obras (Weng and Meng 2011).

Num estudo similar, Li and Bai (2009) estudaram os fatores de risco associados à presença de obras na estrada, bem como o impacto destes na gravidade dos acidentes e consequências para os condutores.

As variáveis para elaboração do modelo encontram-se organizadas em seis categorias, nomeadamente: características do condutor; tempo; condições ambientais; condições da estrada; informações relativas aos acidentes; erros do condutor.

Cada categoria inclui várias variáveis com observações específicas. As variáveis utilizadas por Li and Bai (2009) são semelhantes às utilizadas por Weng and Meng (2011), no entanto destacam-se a introdução das variáveis relativas aos erros dos condutores, como desrespeito pela sinalização, condução sob o efeito de álcool ou drogas e seguir demasiado próximo do veículo da frente.

Em termos de características dos condutores, tanto a idade como o sexo do condutor tem impacto na probabilidade de causar mortos aquando da ocorrência de um acidente grave. Um condutor do sexo masculino pode ter até o dobro da probabilidade de sofrer lesões graves num acidente. Acidentes graves causados por condutores mais idosos (mais do que 64 anos) durante a hora de ponta e noite (16:00-6:00) e por condutores com idades compreendidas entre os 35 e os 44 anos durante o período da noite (20:00-6:00) são mais suscetíveis a sofrer danos graves.

As condições de luminosidade e o tipo de veículo são igualmente variáveis significantes no que a gravidade de acidentes diz respeito. Más condições de visibilidade (por exemplo, noite sem iluminação na estrada) contribuem para um número muito maior de acidentes fatais em relação aos acidentes com feridos, como pode ser observado na Figura 16. A presença de veículos pesados num acidente aumenta a probabilidade de daí resultarem mortos em três vezes.

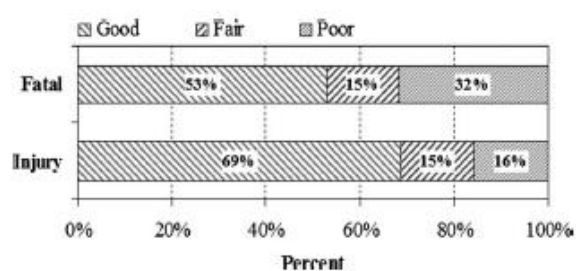


Figura 16 – Comparação de acidentes segundo condições de luminosidade (Li and Bai 2009)

No que toca as características da estrada, locais onde o limite de velocidade é superior a cerca de 100 Km/h aumentam a probabilidade de ocorrência de acidentes graves com vítimas mortais.

Alguns erros dos condutores demonstraram ter um grande impacto no risco associado ao acidente. O desrespeito pela sinalização imposta triplica o risco de morte em caso de acidente em zona de obras, quando comparado com um condutor que respeita a sinalização. Seguir demasiado próximo do veículo da frente demonstrou reduzir o número de acidentes graves.

Foram ainda estabelecidos dois grupos de índices de gravidade de acidentes (IGA), incluindo dois IGA sem consideração das variáveis associadas aos condutores, ou seja, independentes dos condutores (IC-IGA) e outros dois modelos onde estas foram consideradas, ou seja, dependentes dos condutores (DC-IGA). Os IC-IGA apenas incluem as variáveis que caracterizam as condições de circulação. Estes modelos podem ser usados para estimar o risco para os condutores em zonas de obras quando não são conhecidos os erros humanos. Os DC-IGA, por outro lado, estão associados não só aos fatores de risco associados à zona de obra, mas também aos fatores de risco associados aos condutores, como questões demográficas e erros dos condutores.

De uma forma simplificada, a expressão 9 é utilizada para o cálculo do IC-IGA.

$$IC - IGA = \frac{\exp(g2(x))}{1 + \exp(g2(x))} \quad (9)$$

Onde $g2(x) = 7.64 + 0.54LC - 0.93VT - 0.59RC - 0.54SF - 0.86LN - 0.7SL - 1.62AI - 2.71INTC + 1.4ST$, sendo:

LC- Condições de luminosidade;

VT- Tipo de veículo;

RC- Tipo de estrada;

SF- Casos especiais (obras em pontes, por exemplo);

LN- Número de vias;

SL- Limite de velocidade;

AI- Área de informação;

NTC- Via sem controlo de tráfego;

ST- Existência de sinal STOP.

Para o cálculo de DC-IGA, (Li and Bai 2008) apresenta a expressão 10.

$$DC - IGA = \frac{\exp(g4(x))}{1 + \exp(g4(x))} \quad (10)$$

Onde $g4(x) = 4.88 + 0.63LC - 0.81VT - 0.58LN - 0.87SL - 1.77AI - 2.63NTC - 0.70FL + 0.73ST + 0.33AG - 0.85AL + 1.08DTC - 0.52SP - 2.01FC$, sendo:

LC- Condições de luminosidade;

VT- Tipo de veículo;

LN- Número de vias;

SL- Limite de velocidade;

AI- Área de informação;

NTC- Via sem controlo de tráfego;

FL- Presença de sistema de controlo por bandeira;

ST- Existência de sinal STOP;

AG- Idade do condutor;

AL- Condução sob o efeito de álcool/drogas;

DTC- Desrespeito pela sinalização;

SP- Prática de velocidades excessivas;

FC- Seguir demasiado próximo do condutor seguinte.

Tipicamente, fatores de risco como fracas condições de luminosidade, presença de veículos pesados, existência de apenas duas vias para circulação e velocidade excessiva podem levar a

maiores valores de índices e, conseqüentemente, maiores riscos para os condutores. Variáveis como o tipo de estrada, o tipo de superfície da estrada ou a hora do acidente demonstraram não possuir tanta importância no que diz respeito ao aumento da gravidade dos acidentes (Li and Bai 2009).

À semelhança de Li and Bai (2008), Elghamrawy (2011) também desenvolveu índices de gravidade de acidentes, utilizando no entanto uma abordagem diferente no tratamento das variáveis a considerar, nomeadamente através da utilização de software com base em modelos de regressão logística. O tipo de variáveis utilizadas por Elghamrawy (2011) não consideram os fatores associados aos condutores, ao contrário de Li and Bai (2008), focando-se essencialmente em variáveis relacionadas com os tipos de construção e características da estrada.

Neste estudo foram ainda introduzidas as variáveis referentes ao tipo de construção, largura da via, tipo de controlo de tráfego e características físicas do mesmo (ex: material refletor), tráfego médio diário anual e volume de veículos comerciais, que não haviam sido utilizadas no desenvolvimento de índices por Li and Bai (2008).

Foram apresentados por Elghamrawy seis índices de gravidade de acidentes, agrupados em três categorias que representam a probabilidade de uma zona de obras encontrar: (1) acidentes com feridos graves; (2) acidentes com vários veículos; (3) acidentes com vários feridos. Os seis índices são valores numéricos entre zero e um que podem ser estimados considerando dadas características de uma obra. Valores altos refletem elevadas probabilidades de ocorrência de acidentes graves.

Nos acidentes com feridos graves, a análise indicou que três variáveis relacionadas com as zonas em obras: (1) número de vias (NL); (2) tráfego médio diário anual (3) condições de luminosidade demonstraram ter um impacto significativo na gravidade dos acidentes. Quando a variável do tráfego médio diário anual é considerada no índice de acidentes com feridos graves, os resultados indicam que cinco fatores: (1) presença de sentido único; (2) proximidade de interseção importante; (3) tráfego médio diário anual; (4) condições de luminosidade e (5) condições da superfície da estrada têm maior influência na gravidade dos acidentes.

Relativamente ao índice de gravidade baseado no número de veículos envolvidos nos acidentes, os três níveis de acidentes considerados foram: acidente com um veículo envolvido, com dois veículos envolvidos e com vários veículos envolvidos (>2 veículos). As variáveis (1) classe da estrada; (2) estado da superfície da estrada; (3) hora do acidente e (4) condições de luminosidade, têm grande influência na gravidade dos acidentes envolvendo um, dois ou mais

veículos. De forma semelhante ao que foi discutido anteriormente nos acidentes com feridos graves, considerando os dados de tráfego médio diário anual entre 10,000 e 30,000 (que representam 59% do tráfego nas obras analisadas em Illinois), no índice de gravidade considerando o número de veículos, três variáveis: (1) tráfego médio diário anual; (2) limite de velocidade e (3) condições de luminosidade têm maior influência na gravidade dos acidentes.

O índice de gravidade baseado no número de feridos num acidente descreve a relação entre o número de vítimas de um acidente e o conjunto fatores associados à presença de uma obra. Os acidentes envolvendo feridos são divididos em três níveis: (1) acidentes que originam um ferido; (2) acidentes que originam dois feridos; (3) acidentes que originam vários feridos (>2 feridos). As variáveis: (1) condições superficiais da estrada; (2) volume de veículos comerciais e (3) limite de velocidade demonstraram ter maior influência na gravidade deste tipo de acidentes em zona de obras. Mais uma vez, à semelhança do efetuado anteriormente, quando o tráfego médio diário anual se encontra entre 10,000 e 30,000, as variáveis: (1) percurso pré-definido; (2) Condição superficial da estrada e (3) limite de velocidade têm maior importância quando se consideram estes acidentes (Elghamrawy 2011).

No mesmo estudo, Elghamrawy abordou ainda o impacto de alguns parâmetros no risco de ocorrência de acidentes, nomeadamente o desenho da zona de obra, os limites de velocidade impostos, as condições de visibilidade e obstruções, a redução de vias disponíveis, horários de trabalho, duração da obra, uso de via da direita ou berma numa via temporária, separador central, tipo de via, tipo de obra e influência dos dispositivos de controlo de tráfego.

Foram analisados sete desenhos de obra, sendo o tipo de obra com o encerramento de várias vias na proximidade de uma entrada/interseção o que tem um maior risco de acidente. O uso da berma demonstrou ter o menor risco de acidente.

As obstruções são divididas em oito tipos: (1) árvores; (2) sinais; (3) equipamento de construção; (4) brilho do sol; (5) brilho das luzes; (6) brilho resultante de trabalhos durante a noite; (7) curvas horizontais ou verticais e (8) barreiras temporárias de cimento. Alguns exemplos de obstruções podem ser observadas nas Figuras 17, 18 e 19. O brilho do sol foi identificado como sendo o responsável por um maior risco de acidente (0.75). Por outro lado, a existência de barreiras contribui para uma redução do risco de ocorrência de acidentes.



Figura 17 – Obstruções em zonas de obras (Sinais e equipamento)



Figura 18 – Obstrução em zonas de obras (Equipamento)



Figura 19 – Obstrução em zonas de obras (Árvores)

No que diz respeito ao número de vias encerradas, quanto maior for o número de vias cortadas, maior será o risco de acidente, com o corte de berma a revelar ser um fator potenciador da ocorrência de acidentes. O período de trabalho da noite, compreendido entre as 20:00h e as 6:00h tem o maior risco de acidente, sendo que o período do dia compreendido entre as 10:00h e as 16:00h revelou ter o menor risco de acidentes.

Relativamente à duração da obra, as duas durações que estão associadas a riscos mais elevados de acidente são os trabalhos temporários de curta duração e os trabalhos móveis. Obras com a duração de um a três dias estão associadas a riscos médios de acidentes (Elghamrawy 2011).

O separador central demonstrou estar associado à frequência de acidentes em zonas de trabalho. Sendo assim, zonas em obras que não possuam separador central possuem um maior risco de acidente. Por outro lado, obras onde se pode verificar a existência de barreiras, vedações, barreiras de retenção ou rails, demonstram estar associadas a um menor risco de acidentes.

O local onde se desenvolve a obra, seja num meio rural ou urbano, não demonstrou ser uma variável com grandes diferenças, sendo o risco de acidente similar em todos os tipos de vias. Já no que diz respeito ao tipo de obra, construções de acessos e construção de pavimento demonstraram estar relacionados a riscos maiores de acidentes. Por outro lado, cortes de berma para pequenos trabalhos bem como trabalhos de manutenção estão associados a menores riscos. Entre estes, com um risco médio de acidente, encontram-se os trabalhos em pontes.

O tipo de sinalização e dispositivos de controlo de tráfego aplicado em zonas de obras demonstrou estar estatisticamente relacionado com a frequência de acidentes nestas zonas em obras. É consensual que o reforço de policiamento nas zonas de obras pode reduzir significativamente o risco de acidente (El-Rayes, Liu et al. 2010).

Num outro estudo de apuramento da gravidade dos acidentes em zonas de obra, desenvolvido por See (2008), ao contrário dos estudos efetuados por Li and Bai (2008), Weng and Meng (2011) ou Qi, Srinivasan et al. (2005), apenas foram consideradas as variáveis referentes ao desenho da obra, tráfego médio diário anual, condições meteorológicas, presença de interseções e período do dia.

Foram desenvolvidas três equações, relacionando as diferentes variáveis em estudo. Sendo assim, na primeira equação são consideradas as variáveis relativas ao desenho da obra, tráfego médio diário anual, presença de interseção e tempo de chuva ou neve. Na segunda equação relacionam-se o desenho da obra, o tráfego médio diário anual, tempo de chuva ou neve mas

com um dia claro. Na terceira equação é introduzida a variável relativa à presença de interseções à segunda equação.

Com base na análise dos resultados do modelo, todas as variáveis independentes, à exceção do tráfego médio diário anual, não demonstraram ser estatisticamente significantes a um nível de significância de $\alpha=0.05$. Os resultados demonstraram que o tráfego tem uma importância significativa na probabilidade de um acidente em zona de obras ser grave, originando feridos ou mortos. See descobriu que a probabilidade de um volume de tráfego elevado causar um acidente grave são 1.217 vezes superior do que a probabilidade numa obra com volumes de tráfego baixos. No entanto, a adoção de um desenho de obra em “onda” mostrou reduzir aproximadamente em 30% o risco de acidente, quando comparado com o tradicional corte de via (See 2008).

Num outro estudo desenvolvido por Qi, Srinivasan et al. (2005) foi desenvolvido um modelo de previsão da gravidade dos acidentes do tipo frente/traseira. Para isso, foi utilizado um conjunto de onze categorias de variáveis, podendo identificar-se, no total, o uso de vinte e duas variáveis:

- Condutor adormecido, desatento ou distraído;
- Condutor inexperiente;
- Mau julgamento por parte do condutor (excesso de velocidade, inapropriada mudança de via, viragem inapropriada, desvios na direção, seguir demasiado próximo do condutor da frente, etc);
- Desatenção à retaguarda;
- Álcool/drogas/medicação;
- Situação médica (ataque cardíaco, etc)
- Falha mecânica do veículo;
- Pavimento escorregadio;
- Noite;
- Outras condições de má visibilidade (nevoeiro, nublado, claridade, etc);
- Veículo com excesso de peso;
- Evitar outro veículo;

- Evitar um animal/objeto/peões/bicicletas na estrada;
- Sinalização de bandeiras mal entendida ou inapropriada;
- Sinalização inapropriada ou em falta;
- Material proveniente da obra na via;
- Vento forte;
- Erro do peão/ciclista;
- Visão obstruída por materiais ou máquinas de trabalho;
- Detritos de acidentes anteriores;
- Degradação do pavimento, como buracos, etc;
- Outra, sem culpa para o condutor.

As conclusões resultantes da calibração do modelo revelaram que o álcool, condução noturna, circulação de peões e defeitos na via estão associados a acidentes frente-traseira mais graves.

As obras que decorrem em pontes, obras de aumento de capacidade/alargamento de via e pavimentação estão associadas a uma maior gravidade dos acidentes frente-traseira. O local da obra associado a maior gravidade de acidentes deste tipo é a transição entre a sinalização de aproximação e a sinalização de posição, quando se inicia o afunilamento da via.

2.8. Modelos de impacto das obras na circulação

Ao longo das últimas décadas o número de veículos em circulação está a aumentar rapidamente, devido a diversos fatores, tais como o aumento da população e influência do estilo de vida ocidental, no qual o automóvel é um elemento essencial para a realização das principais deslocações diárias e de lazer (Cruz 2006).

O aumento da circulação de veículos leva à ocorrência de problemas de congestionamento, redução da capacidade das estradas e atrasos. Por conseguinte, a realização de obras em estradas pode potenciar esses problemas, pelo facto de usualmente ocorrer o encerramento de uma ou mais vias de tráfego, como por exemplo a realização de trabalhos de repavimentação. Por outro lado, existe a necessidade de proteger os trabalhadores em obras de estrada (Weng and Meng 2013).

Tendo em conta que existirão sempre obras em estradas, os engenheiros e outro staff técnico, como os técnicos de segurança, enfrentam o desafio de planejar e organizar a execução das obras de modo seguro e eficiente. Este é, no entanto, um problema complexo que requer várias análises do sistema viário, com recurso por exemplo a modelos adequados de avaliação de impactos referentes a zonas em obras. Os conceitos mais importantes na determinação do impacto de uma zona de obras na mobilidade, ao nível dos condutores, serão o atraso sofrido pelos veículos e a capacidade das estradas. Ao longo de mais de 30 anos têm sido desenvolvidos esforços no sentido de apresentar modelos de planeamento do tráfego melhores e mais eficazes para este e outro tipo de situações (Karim and Adeli 2003).

2.8.1. Modelos de determinação da capacidade

Num estudo desenvolvido por Weng and Meng (2013), foi apresentada uma visão geral sobre a capacidade e o atraso que pode ocorrer numa estrada em obras. Estes concluíram que existem 16 fatores (Figura 20) importantes que afetam a capacidade de uma estrada em obras, agrupados nas seguintes cinco categorias: configuração da zona de trabalho; condições da estrada características dos trabalhos, condições atmosféricas e outras.

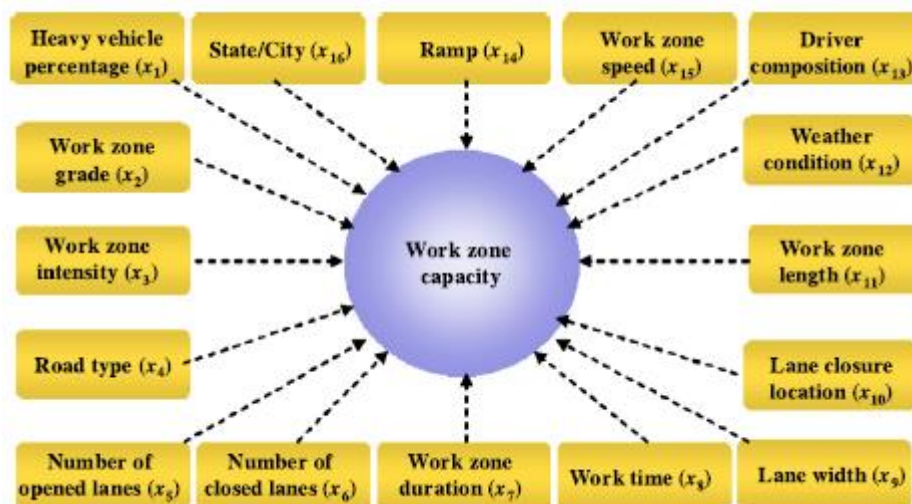


Figura 20 – Variáveis que influenciam a capacidade de uma estrada em obras (Weng and Meng 2013)

- Configuração da zona de trabalho;

A existência de trabalhos influencia significativamente a capacidade de uma estrada, nomeadamente no que diz respeito ao número de vias disponíveis e ao número de vias cortadas (Dixon, Hummer et al. 1996). Kim, Lovell et al. (2001) defenderam que zonas de trabalhos com

maior comprimento reduzem a capacidade da estrada, enquanto que Heaslip, Kondyli et al. (2009) descobriram que a capacidade não varia significativamente com a variação do comprimento da zona de obra.

- Condições da estrada;

No estudo efetuado por Dixon, Hummer et al. (1996), pode ler-se que a capacidade de uma estrada urbana em obras é normalmente 20% a 30% superior em relação a uma estrada em obras rural.

De acordo com o National Research and Transportation Research (2010), as interseções da estrada em obras são um fator importante que afetam a capacidade da estrada, reduzindo-a. As inclinações junto à zona de atividades, ou seja, no local onde estão presente os trabalhos, representam os casos de maior perigo. O NTRT uma redução da capacidade em cerca de 14% por consequência da redução de largura fruto do corte de via.

- Caraterísticas dos trabalhos;

A capacidade de uma estrada em obras pode diminuir quando a intensidade dos trabalhos aumenta, desde a simples instalação de proteções laterais, até a reparação de pontes. De um modo geral, em média, a capacidade de estradas em obras de longa duração é maior do que a capacidade de uma estrada com trabalhos de curta duração, pelo facto dos utilizadores frequentes da estrada acabarem por se familiarizar com as condições existentes de circulação (Weng and Meng 2013).

- Condições meteorológicas;

O tempo (chuva, sol, neve) afeta a capacidade da estrada. O documento do NRTR (2010) sugere que a capacidade diminua entre 10 e 20 quando estão presentes más condições meteorológicas.

- Outras condições.

Uma maior percentagem de veículos pesados implica uma maior ocupação do espaço, bem como uma redução da velocidade. Krammes and Lopez (1994) levaram a cabo um estudo que defendeu precisamente a influência dos veículos pesados na capacidade de uma estrada em obras.

Considerando as variáveis apresentadas anteriormente, o documento elaborado por Weng and Meng (2013) realça duas aproximações para a estimação da capacidade, nomeadamente a paramétrica e a não paramétrica.

A análise paramétrica baseia-se nos dados existentes acerca da capacidade de várias estradas, a partir dos quais são determinados os coeficientes de previsão.

Num modelo elaborado por Krammes and Lopez (1994), após a análise de 33 zonas de trabalho no Texas, a capacidade de trabalhos de curta duração em autoestradas pode ser determinada pela expressão 11:

$$c = (1600 + I - R) * f_{HV} \quad (11)$$

Onde c é a capacidade estimada da estrada devido ao efeito da intensidade dos trabalhos, percentagem de veículos pesados e presença de inclinações perto do local onde se inicia o corte de via, o valor de 1600 representa a capacidade base, I é o fator de ajustamento para a intensidade de trabalhos, R é o coeficiente de ajustamento devido à presença de inclinações ($R=0$ se a inclinação for nula e $R=160$ caso contrário) e f_{HV} é o fator de ajustamento devido à presença de veículos pesados, obtido em função de dois parâmetros, nomeadamente a proporção de veículos pesados e a equivalência de conversão de veículos pesados em ligeiros equivalentes.

No entanto, um grande número de variáveis não foram consideradas, pelo que Kim, Lovell et al. (2001) desenvolveu um modelo utilizando regressão linear múltipla para estimar a capacidade em estradas com quatro vias em cada sentido sujeitas ao corte de vias. O resultado foi o seguinte:

$$c = 1857 - 168.1NUMCL - 37.0LOCCL - 9.0HV + 92.7LD - 34.3WL - 106.1WI - 2.3WG * HV \quad (12)$$

Onde NUMCL representa o número de vias cortadas, LOCCL a posição da via cortada (direita=1, esquerda=0), HV é a percentagem de veículos pesados, LD consiste na distância lateral até à via cortada, WL é o comprimento da obra, WI a intensidade dos trabalhos e WG é a situação da obra.

Contudo, a pesquisa demonstrou que cada análise paramétrica é aplicável somente a um tipo específico de obra, ou seja, um modelo desenvolvido para análise de uma obra de curta duração não poderá ser utilizado para estimar a capacidade de uma estrada onde prevaleçam trabalhos de longa duração.

O manual do NRTR (National Research and Transportation Research (2010)) fornece um cálculo que permite determinar a capacidade quer em obras de curta duração, quer em obras de longa duração. Sendo assim, este manual apresenta a seguinte expressão para estimar a capacidade numa obra de curta duração:

$$c = \{[(1600 + I) * f_{HV}] * N\} - R \quad (13)$$

Onde c é a estimativa de capacidade da estrada analisada, I é o coeficiente de ajustamento relativo à intensidade dos trabalhos, R é o ajustamento para a presença de interseções, f_{HV} é o fator de ajustamento para a presença de veículos pesados e N representa o número de vias abertas na zona de obra.

Para obras de longa duração, o manual *Highway Capacity Manual* (HCM) apresenta uma capacidade base de 1750 veículos/hora/via para uma estrada de duas vias com o corte de uma via, e uma capacidade de 1860 no caso de uma estrada com três vias com o corte uma via.

Num estudo elaborado por Batson, Turner et al. (2009), com base num modelo utilizado para a determinação da capacidade de estradas em obras em Oklahoma, foram efetuadas alterações ao modelo preconizado pelo HCM2000, nomeadamente no que diz respeito à intensidade de trabalho. Através da análise do impacto da intensidade na capacidade de uma zona de obra foi possível criar uma versão híbrida do modelo HCM 2000.

O modelo de base utiliza o conceito de intensidade de trabalho para a definição da capacidade de uma estrada em obras. Os fatores que influenciam esta intensidade são:

- Número e dimensões do equipamento envolvido na obra;
- Número de trabalhadores presentes na proximidade da(s) via(s) aberta(s);
- Largura das bermas na zona de obra, se existentes;
- Distância da zona de obra à(s) via(s) aberta(s);
- Uso de iluminação (noite);
- Obra do tipo fixa ou móvel;
- Obras de curta ou longa duração (obras de longa duração conferem uma maior capacidade de escoamento às estradas do que aquelas que são encontradas pelos condutores pela primeira vez).

Cabe ainda ao utilizador do modelo a escolha do nível de conservativismo na definição da capacidade. Em caso de dúvida entre dois níveis, deve ser escolhido o mais conservativo. A Tabela 10 demonstra os resultados da capacidade de uma via numa zona de obras, segundo o modelo de base.

Tabela 10 – Intensidade dos trabalhos segundo o modelo base (Batson, Turner et al. 2009)

| Intensidade dos trabalhos | Descrição qualitativa | Exemplos de trabalhos | Nível de conservativismo | Capacidade (veíc/h/via) |
|---------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 | Mais leve | Instalação de barreiras | 0% | 1465 |
| 2 | Leve | Reparação do pavimento | 20% | 1419 |
| 3 | Moderado | Repavimentação | 40% | 1374 |
| 4 | Pesado | Remoção do pavimento | 60% | 1328 |
| 5 | Muito pesado | Marcação do pavimento | 80% | 1282 |
| 6 | Mais pesado | Reparação de pontes | 100% | 1236 |

A escala de intensidade dos trabalhos utilizada para o cálculo da capacidade segundo o método HCM2000, vai desde os +160 (veíc/h/via) até aos -160 (veíc/h/via), consoante se trate, respetivamente, do nível 1 ou nível 6. A expressão para o cálculo da capacidade, onde serão utilizados estes valores da intensidade foi referida na Eq.13.

O modelo híbrido do HCM2000 difere do modelo do HCM2000 na definição da intensidade dos trabalhos, como se apresenta na Tabela 11 (Batson, Turner et al. 2009).

Tabela 11 – Valores da intensidade dos trabalhos segundo o modelo híbrido do HCM2000

| Intensidade dos trabalhos | Descrição qualitativa | Exemplos de trabalhos | Valor de I |
|---------------------------|-----------------------|-------------------------|------------|
| 1 | Mais leve | Instalação de barreiras | 0 |
| 2 | Leve | Reparação do pavimento | -100 |
| 3 | Moderado | Repavimentação | -200 |
| 4 | Pesado | Remoção do pavimento | -300 |
| 5 | Muito pesado | Marcação do pavimento | -400 |
| 6 | Mais pesado | Reparação de pontes | -500 |

Com base na análise efetuada aos três modelos, a versão híbrida do modelo HCM2000 minimiza os erros na previsão da capacidade, permitindo obter valores mais exatos no cálculo das filas, como por exemplo as filas iniciais ou o máximo comprimento das filas (Batson, Turner et al. 2009).

Na análise de capacidade de uma estrada podem no entanto existir relações não lineares entre os diversos fatores que influenciam essa mesma capacidade. As análises paramétricas não

contemplam essas mesmas relações, pelo que a análise não paramétrica não assume um modelo como uma estrutura fixa, introduzindo variáveis interativas quantificadas por modelos fuzzy.

Num estudo levado a cabo por Adeli (2003), são considerados 17 fatores como influenciadores da capacidade de uma autoestrada em obras:

- Percentagem de veículos pesados;
- Desníveis do pavimento;
- Número de vias;
- Número de vias cortadas;
- Largura das vias;
- *Layout* da zona de trabalho (por exemplo, uma mudança de via ou cruzamento);
- Intensidade dos trabalhos (tipo de trabalhos);
- Comprimento da via cortada;
- Velocidade praticada na zona de obra;
- Proximidade de rampas;
- Localização da obra (urbana ou rural);
- Duração da obra;
- Altura do dia dos trabalhos (dia ou noite);
- Dia da semana em que se desenvolvem os trabalhos;
- Condições meteorológicas;
- Estado do pavimento;
- Tipo de condutor (comum ou não comum, como turistas).

De forma simplificada, a capacidade da estrada em obras poderá ser definida em função de 17 variáveis, como foi descrito anteriormente:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_{17}) \quad (14)$$

As variáveis foram quantificadas e normalizadas. Segundo o autor, a normalização das variáveis previne desvios do domínio das variáveis com maiores valores numéricos em relação às variáveis com menores valores numéricos, aumentando portanto a convergência na formação da “rede de variáveis”. No que toca à quantificação das variáveis, esta é feita à semelhança daquilo que foi apresentado na tabela anterior, onde foram definidos vários números, consoante o tipo de situação presente. Por exemplo, foram determinados os números 1 e 2 para definir a localização da obra como urbana ou rural, respetivamente.

Segundo Adeli, um aumento no valor das variáveis x_5 (largura da via), x_8 (comprimento da via cortada) e x_9 (velocidade praticada na zona de obra) levam a um aumento da capacidade da estrada.

Após efetuar os testes ao modelo criado, Adeli (2003) retirou algumas conclusões, nomeadamente que os resultados da aplicação do modelo *fuzzy* para estimar a capacidade de uma estrada em obras revelaram a obtenção de melhores resultados quando comparados com os modelos paramétricos apresentados pelo manual HCM ou por Kim, Lovell et al. (2001). O modelo apresentado tem duas grandes vantagens: 1ª) incorpora um maior número de variáveis com influência na capacidade; 2ª) ao contrário dos restantes modelos, não requer a seleção de coeficientes de ajustamento, escolhidos através da experiência do utilizador do modelo.

No entanto, o modelo *fuzzy* é descrito por Meng & Weng (2011) como sendo demasiado complexo, tendo uma fraca aplicabilidade para os utilizadores convencionais.

2.8.2. Modelos de determinação do atraso

A presença de trabalhos na estrada pode provocar atraso na circulação rodoviária. O cálculo do atraso nas zonas em obras assume particular relevância pois permite aos engenheiros orientar de forma mais eficiente o planeamento e execução de obras em estradas (Meng and Weng 2011).

O atraso em zonas de obras pode ser definido como a diferença entre o tempo de uma viagem numa estrada com e sem obras a decorrer. A avaliação dos volumes de tráfego pode ser feito recorrendo, entre outros, a três métodos distintos: caracterização macroscópica, simulação macroscópica e caracterização microscópica (Weng and Meng 2013).

Através da abordagem macroscópica, muitos investigadores ((McCoy, Pang et al. 1980), (Adeli 2003)) defenderam que não existe formação de filas quando o volume de tráfego que se aproxima da zona de trabalhos é inferior à capacidade da estrada.

Tendo em conta as variações de velocidades, Meng and Weng (2013) desenvolveram um modelo determinista de fila de espera para estimar os atrasos em zonas de obras. Nesse estudo foram resolvidas ainda duas questões identificadas em estudos anteriores, nomeadamente no cálculo do atraso devido à presença de filas de espera e devido ao movimento de veículos. A primeira questão deve-se ao facto destes estudos ignorarem que uma fila pode desaparecer completamente antes do fim de um determinado intervalo de tempo estabelecido, quando o tráfego que chega ao local é menor do que a capacidade da zona de trabalho, o que pode causar uma sobrestimação do atraso. A segunda questão consiste no facto de alguns estudos assumirem que as partidas dos veículos são iguais às chegadas, quando o tráfego de chegada é menor do que a capacidade da zona de trabalho, mas, as partidas podem ser maiores do que as chegadas quando existe fila.

Embora as análises deterministas sejam amplamente utilizadas, possuem duas grandes limitações. Em primeiro lugar, os veículos efetuam manobras de desaceleração antes de entrarem na zona de obras, acelerando entretanto após passarem essa zona. No entanto, as aproximações deterministas não consideram esta componente do atraso devido à desaceleração dos veículos e posterior aceleração. Numa tentativa de lidar com este problema, Jiang (1999) desenvolveu um estudo que considerava a existência de acelerações e desacelerações no cálculo dos atrasos. Por outro lado, formam-se filas de veículos quando o débito de tráfego é inferior à capacidade da estrada devido à existência de alguma aleatoriedade na circulação e consideram-se para efeitos de cálculo valores médios horários. Por outras palavras, as aproximações deterministas podem apresentar algumas lacunas na estimação de atrasos em zonas de obras (Weng and Meng 2013).

O funcionamento dos modelos deterministas, na perspetiva da evolução das filas de espera, pode ser representado graficamente, como ilustra a Figura 21 (Seco et al. 2010):

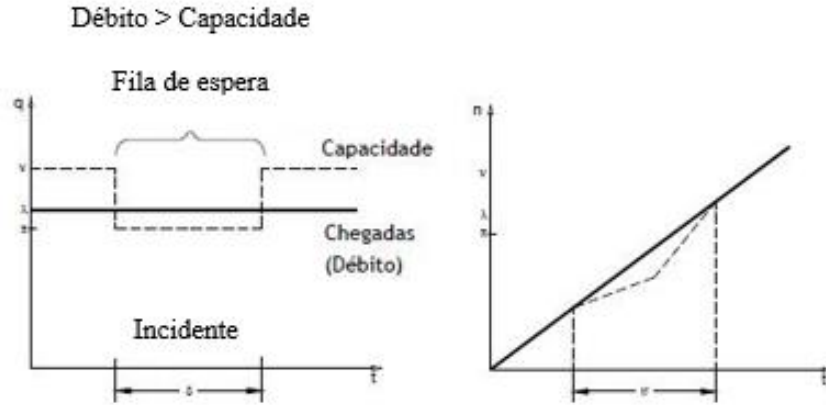


Figura 21 – Evolução da fila de espera

O atraso pode ser calculado com recurso à expressão 15:

$$D = \frac{\delta * t_f(\lambda - \pi)}{2} \quad (15)$$

Onde,

δ - tempo de ocorrência do incidente (tempo da realização dos trabalhos);

v – capacidade antes do incidente;

π - capacidade depois do incidente;

λ – ritmo das chegadas (considerado constante em todo o tempo);

t_f – duração da fila.

Num estudo efetuado por Chien, Goulias et al. (2002) é apresentada uma expressão para o cálculo do atraso numa autoestrada com obras. Nesse sentido, o atraso pode ser calculado através da expressão 16:

$$Delay = \frac{t^2(C - C_w)(Q - C_w)}{2(C - Q)} \quad (16)$$

Onde Q representa o débito, C a capacidade da autoestrada, C_w a capacidade da zona de obras e t a duração da obra, em horas. Os autores deste documento abordam ainda os conceitos de atraso em circulação e atraso quando se verifica a formação de fila de espera, apresentando expressões para o cálculo em ambos os cenários, que se baseiam na consideração de variáveis

como o tráfego, velocidade em regime livre, velocidade média na zona de obra e comprimento da mesma.

Segundo Ullman, Lomax et al. (2011), o atraso pode ser calculado em três passos, que se descrevem de seguida.

Numa primeira fase são estimadas as velocidades médias: em fila na aproximação à obra e na zona de obra.

A velocidade média em fila (U_q), na aproximação à obra, é dada pela expressão:

$$U_q = \left(\frac{U_f}{2}\right) \left(1 - \left(1 - \frac{\text{Capacidade zona de obra}}{\text{Capacidade normal}}\right)^{\left(\frac{1}{2}\right)}\right) \quad (17)$$

Onde U_f representa a velocidade de percurso em regime livre. A capacidade em zona de obra pode ser calculada através da expressão do documento HCM2000 (National Research and Transportation Research 2010) apresentada anteriormente.

A velocidade na zona de obra é calculada por:

$$\left(\frac{U_f}{2}\right) \quad (18)$$

Seguidamente é calculado o atraso médio (atraso por veículo).

$$\frac{\text{Atraso}}{\text{Veículo}} = L_q \left(\frac{1}{U_q} - \frac{1}{U_{wzsl}}\right) + L_{wz} \left(\frac{1}{\frac{U_f}{2}} - \frac{1}{U_{wzsl}}\right) \quad (19)$$

Onde,

L_q – Comprimento da fila de espera;

L_{wz} – Comprimento da zona de obra.;

U_{wzsl} – Limite de velocidade da zona de obra.

Por fim, o atraso total de todos os veículos pode ser estimado através da multiplicação do valor do tráfego médio diário (TMD) pelo atraso médio.

Este processo de previsão do atraso através da utilização das filas de espera é indicado para obras em zonas onde, normalmente, não ocorrem congestionamentos antes da implementação das obras.

Por último, importa referir o estudo conduzido por Al-Kaisy and Kerestes (2006), onde a análise do atraso se baseou na comparação de diferentes estratégias de controlo de tráfego. Nesse caso, as variáveis envolvidas no estudo foram o comprimento da obra, a velocidade média do local, o tempo perdido durante o arranque dos veículos e o tempo de limpeza da estrada, interrupções devido ao movimento de veículos afetos à obra, níveis de tráfego e mudanças de direção. As conclusões apresentadas foram as seguintes:

- O atraso nas zonas em obras pode ser significativamente reduzido através da utilização de técnicas de controlo de tráfego mais avançadas. Estas técnicas tendem a otimizar a implementação de uma via disponível entre as duas direções de tráfego, quando possível;
- A utilização de sinalização adaptável em detrimento da sinalização estática poderá levar a uma redução de 30% nos atrasos;
- A utilização eficaz do sistema de raquetes poderá ter efeitos semelhantes aos verificados com a utilização de sinalização alterável.

3. SEGURANÇA RODOVIÁRIA EM ZONAS DE OBRA

3.1. Introdução

A sinalização é essencial para o bom funcionamento de uma rede de estradas, na medida em que possibilita a regulação do tráfego e promove o aumento da segurança rodoviária. A sinalização de tipo temporário é utilizada quando é necessário efetuar trabalhos de qualquer tipo na via, como foi descrito anteriormente, sendo que esta deve ir de encontro às necessidades de intervenção e construção, caso dos obstáculos e obstruções, mas também dar uma resposta efetiva as necessidades de mobilidade e segurança dos peões e automobilistas (Gomes 2012).

Esta sinalização deve ser facilmente compreendida pelos utentes da via, bem como credível entre ela e com a restante sinalização pré-existente, ou seja, deve ser adequada ao ambiente em que se insere. A legibilidade deste tipo de sinais tem especial importância, daí existir uma diferenciação em relação à sinalização normal, nomeadamente na cor amarela que é característica da sinalização temporária (sinas de perigo (AT) e painéis).

3.2. Planos de Segurança Rodoviária

Numa obra viária, o planeamento das medidas de segurança a adotar é extremamente importante, no sentido de evitar a ocorrência de acidentes. As entidades envolvidas nas obras devem elaborar planos de segurança, cumprindo o artigo 80º do decreto regulamentar n.º22-A/98, no sentido de articular todas as questões envolvidas numa obra, como por exemplo a sinalização vertical temporária, as marcas rodoviárias ou o tratamento da área adjacente à faixa de rodagem, para aumentar a segurança dos utilizadores que circulam na zona de obra.

Uma parte importante do planeamento de uma obra assenta na correta definição da sinalização temporária por forma a possibilitar a continuidade do movimento de veículos, maquinaria presente em obra, bem como todos os trabalhadores existentes.

A empresa Cândido José Rodrigues (CJR) define que o objetivo principal de um plano de sinalização temporária é o de aumentar a segurança dos trabalhadores da obra, dos moradores das habitações circundantes e da circulação rodoviária, assim como manter o fluxo de tráfego com a menor interferência possível, diminuindo o impacto negativo que uma obra possa causar na rotina diária da zona envolvente. No plano de sinalização temporária da empresa CJR analisado, constam, inicialmente, as seguintes informações:

- Tipo de obra que se irá efetuar;
- Local da obra;
- Decreto regulamentar respeitante à implementação de sinalização temporária (nº 22-A/98, de 1 de Outubro)
- Esquema utilizado, segundo o Manual de Sinalização Temporária da JAE (ex:F06).

Durante a fase de planeamento dos esquemas a implementar na zona de obras existem alguns pontos que merecem especial consideração:

- Segurança é o principal objetivo;
- As necessidades dos peões devem ser tidas em conta, especialmente no caso de existência de paragens, centros comerciais ou centros hospitalares, onde existam um número considerável de pessoas com limitações motoras;
- Os trabalhos devem ser efetuados no mínimo de espaço e tempo possíveis;
- Deve existir ligação com trabalhos na estrada que podem eventualmente existir nas proximidades;
- Nos períodos de férias, quando o tráfego se preveja maioritariamente recreativo, como por exemplo ao fim de semana, a capacidade da via é reduzida em 30% (Government 2009). Caso a procura exceda a capacidade disponível irão desenvolver-se filas, o que poderá por em risco a circulação dos utentes da estrada;
- Transportes públicos serão afetados pelas novas condições impostas, devendo ser avisados das respetivas alterações, nomeadamente controlos de tráfego e esquemas de sinalização;
- Quando necessário, devem ser efetuadas ligações com as autoridades e outros sistemas de emergência que possam ter um papel importante na área afetada pela obra.

Os esquemas fornecidos pelo manual da JAE servem de guia para a colocação de sinalização, devendo ser tidos em conta na elaboração dos planos de sinalização temporária. Este manual fornece inúmeros esquemas, consoante se tratem de trabalhos fixos, trabalhos móveis ou perigos temporários.

É considerado trabalho temporário o condicionamento do tráfego devido a um acidente, anomalia súbita no pavimento, objeto caído na faixa de rodagem ou outras de caráter inesperado. Os esquemas para este tipo de trabalho são do tipo P (P01 e seguintes).

Trabalhos fixos [esquemas do tipo F (F01 e seguintes)] englobam a manutenção de juntas de dilatação de obras de arte, reparações de pavimentos ou outras de caráter previsível.

Nos trabalhos móveis podem identificar-se as marcações rodoviárias, a observação de pavimentos ou outras tarefas que impliquem o avanço contínuo das zonas de trabalho. Os esquemas dos trabalhos móveis são os do tipo M (M01 e seguintes) (Estradas 1997).

Antes de qualquer novo desvio ou estrada temporária ser aberta ao tráfego, toda a sinalização deve ser colocada no devido lugar. Eventuais alterações nos esquemas poderão ser necessárias devido a modificações nas condições da obra ou em vista à melhoria das condições de segurança fornecidas.

A implementação da sinalização temporária numa obra deve seguir o faseamento estipulado pelo manual de sinalização temporária da JAE. As fases encontram-se representadas nas Figuras 22 a 24.

Fase 1

Colocação da sinalização no sentido prioritário (sinalização de aproximação e final).



Figura 22 – Fase um da colocação da sinalização temporária (Estradas 1997)

Fase 2

Colocação da sinalização no sentido afetado exceto a sinalização de posição.

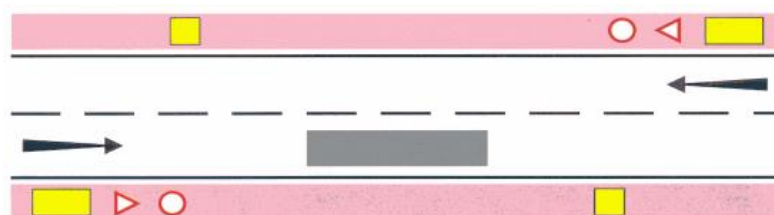


Figura 23 – Fase dois da colocação da sinalização temporária (Estradas 1997)

Fase 3

Após o início da regularização da sinalização alternada por sinalização luminosa ou raquetes de sinalização, colocar a sinalização de posição.

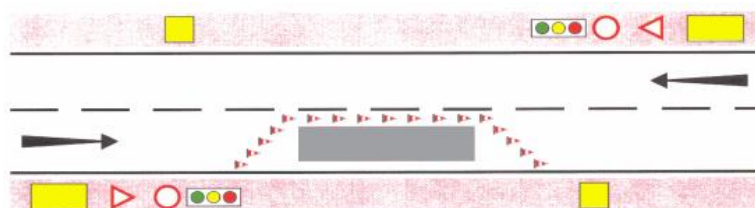


Figura 24 – Fase três da colocação da sinalização temporária (Estradas 1997)

Caso seja necessário proceder à implementação de um desvio de trânsito (Figura 25), o faseamento a seguir na sua implementação é o seguinte:

- Fase 1- Iniciar a montagem da sinalização pelo fim, isto é pela sinalização final. Seguidamente montar toda a sinalização necessária nas interseções, sempre do fim do desvio até ao seu início.
- Fase 2- Montar a pré-sinalização, sinalização avançada e sinalização intermédia.
- Fase 3- Após estar executada a sinalização em ambos os sentidos, colocar a sinalização de posição.

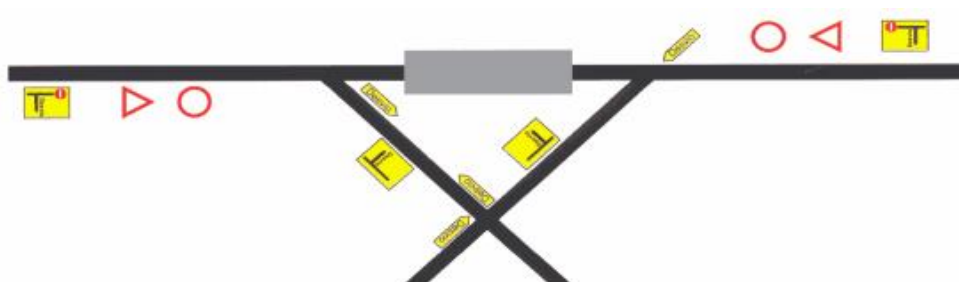


Figura 25 – Implementação de um desvio (Estradas 1997)

Num projeto de uma obra podem ainda constar desenhos representativos dos trabalhos a efetuar, por forma a ser mais claro o tipo de intervenção a efetuar, bem como ter uma ideia da sinalização

a utilizar. Segue-se um exemplo de uma obra realizada em Guimarães, na EN101, que consiste num projeto de beneficiação do pavimento (Figura 26). Em primeiro lugar, é apresentada a localização da obra. No documento onde se encontra especificada a localização da obra encontra-se também descrito o tipo de empreitada a efetuar, com a apresentação de todos os trabalhos a realizar. Em segundo lugar pode observar-se uma planta dos trabalhos a efetuar, dividida em trechos homogêneos (Figuras 26 a 34).



Figura 26 – Localização do local a intervir

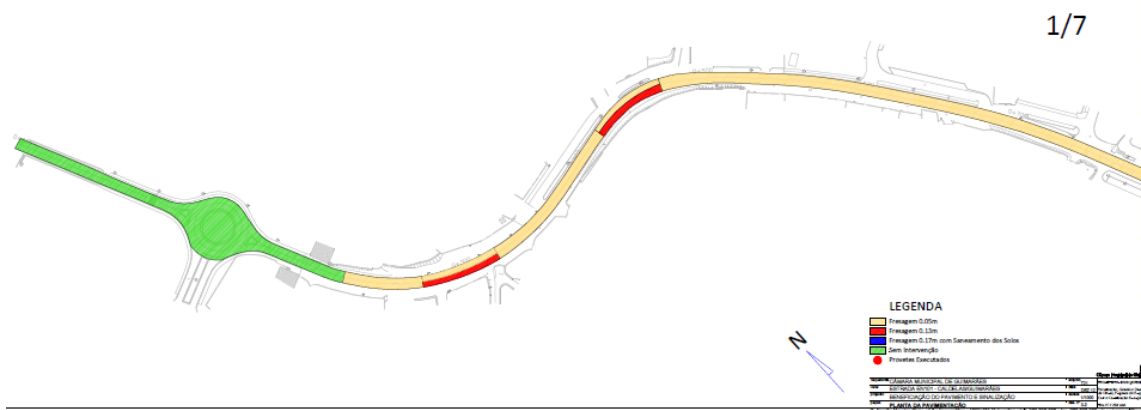


Figura 27 – Descrição dos trabalhos a efetuar

LEGENDA

- Fresagem 0.05m
- Fresagem 0.13m
- Fresagem 0.17m com Saneamento dos Solos
- Sem Intervenção
- Provetes Executados

| | | | |
|------------|---|-----------|--------|
| requerente | CÂMARA MUNICIPAL DE GUIMARÃES | Parque | 721 |
| local | ESTRADA EN101 - CALDELAS/GUIMARÃES | data | DEZ 12 |
| projeto | BENEFICIAÇÃO DO PAVIMENTO E SINALIZAÇÃO | escala | 1/1000 |
| peça | PLANTA DA PAVIMENTAÇÃO | folha n.º | 3.2 |

Câmara Municipal de Guimarães
R. Fernão Mendes Pinto, n.º 7 • Fermentões • 4800-174 Guimarães • tel: 253 525 266 • fax: 253 525 267 • jm.unipessoal@gmail.com

Figura 28 – Pormenor da legenda

2/7

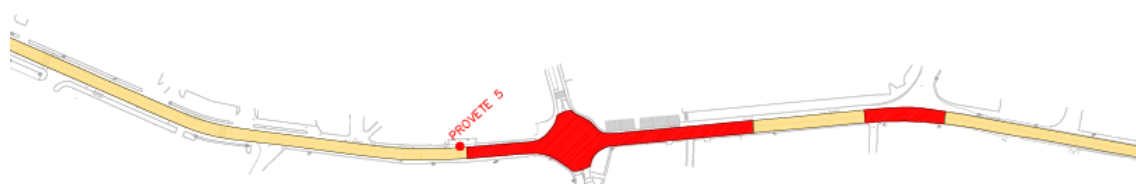


Figura 29 – Descrição dos trabalhos a efetuar

3/7



Figura 30 – Descrição dos trabalhos a efetuar

4/7

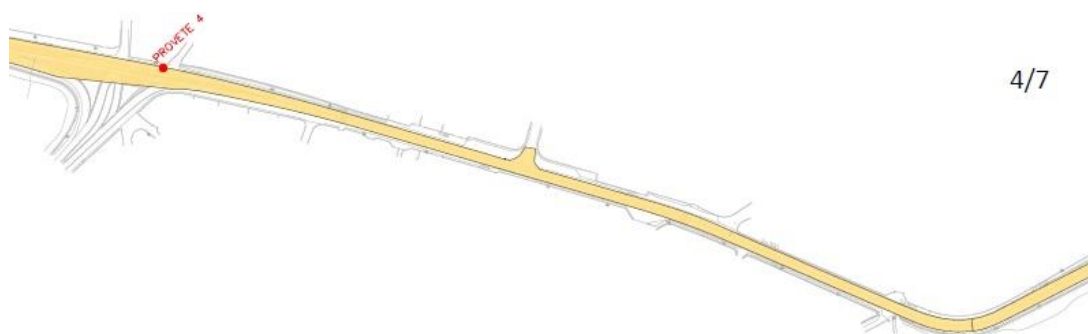


Figura 31 – Descrição dos trabalhos a efetuar

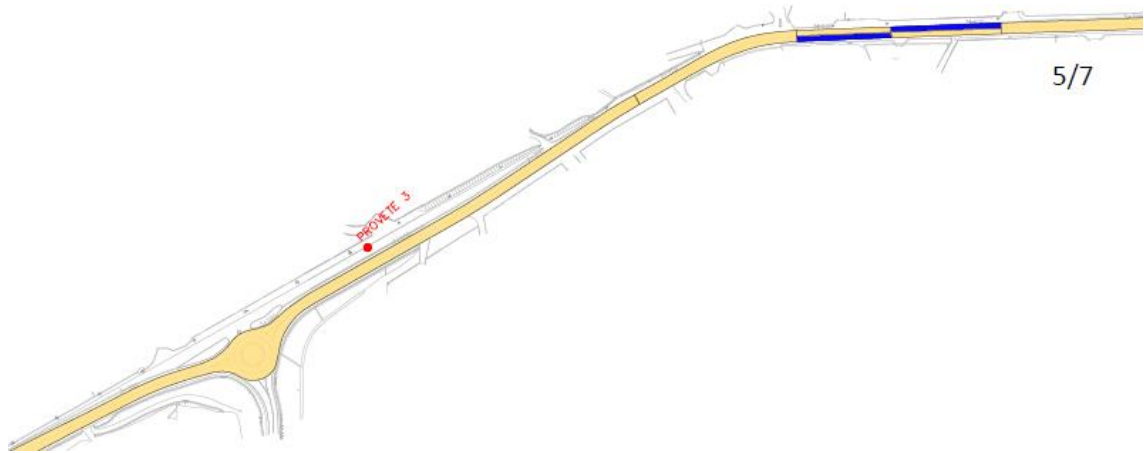


Figura 32 – Descrição dos trabalhos a efetuar

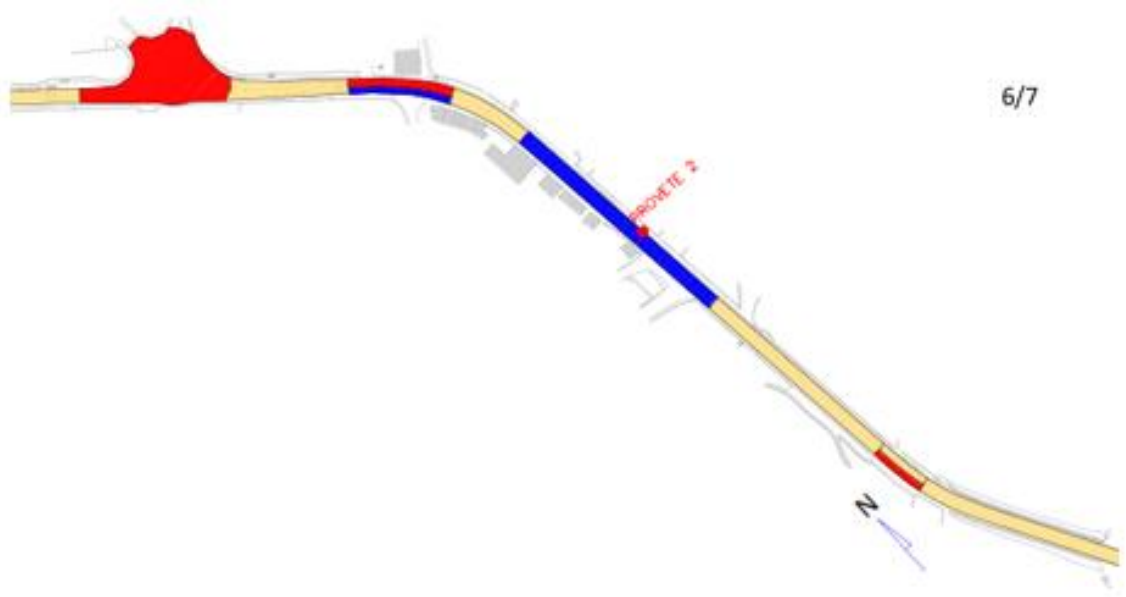


Figura 33 – Descrição dos trabalhos a efetuar



Figura 34 – Descrição dos trabalhos a efetuar

3.3. Esquemas de colocação da sinalização temporária

O erro humano, nomeadamente o desrespeito pela sinalização temporária, representa um dos fatores com maior impacto nos acidentes em zonas de obra (Bai and Li 2006). Tendo em conta a importância da sinalização temporária em zonas de obra, torna-se fulcral o estabelecimento de esquemas de colocação desta sinalização que possam contribuir para uma redução da sinistralidade e conseqüente aumento da segurança para os condutores.

Os requisitos básicos exigidos a este tipo de sinalização, com vista a cumprir os propósitos de legibilidade e credibilidade são uma boa visibilidade quer no período noturno, quer no diurno, bem como tamanhos de letra adequados, símbolos, setas ou a existência de pequenas legendas que ajudam a uma melhor compreensão por parte do condutor à medida que se aproxima da zona de obras. A simplicidade e uniformidade dos desenhos bem como a sua aplicação no terreno são também questões importantíssimas.

A sinalização temporária pode ser disposta de várias formas. A seguir apresentam-se dois exemplos de esquemas, um deles referente a Portugal, com base no Manual de Sinalização Temporária da JAE e outro referente aos EUA, referente ao documento do Departamento de Transportes (DoT).

Serão ainda analisados alguns aspetos relativos à colocação da sinalização temporária no Reino unido, tendo como base o manual de sinalização vertical temporária e medidas de segurança em situações de obras na estrada.

A composição da sinalização temporária em Portugal, é apresentada na Figura 35:

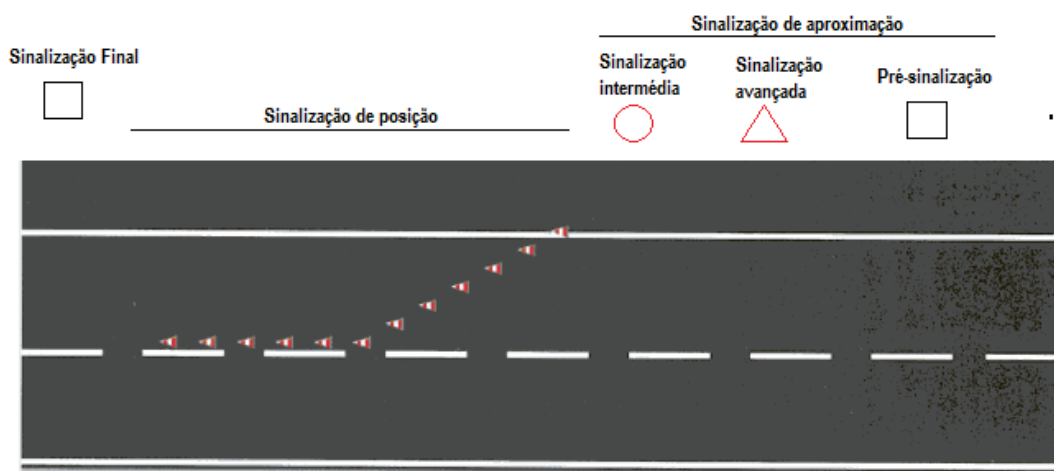


Figura 35 – Composição da sinalização temporária (Estradas 1997)

- Sinalização de aproximação (Artigo 82º, n.º22-A/98), colocada antes do obstáculo e constituída por:
 - Pré-sinalização, que alerta com antecedência os condutores, indicando a aproximação de perigo, encontrando-se regulamentada pelo artigo 84º, n.º22-A/98;
 - Sinalização avançada e intermédia (sinais de perigo e proibição), que obrigam os condutores a redobrar a atenção e prudência, levando a uma progressiva redução da velocidade, evitando a ocorrência de acidentes e melhorando a fluidez do tráfego na zona de restrição. Este tipo de sinalização encontra-se regulamentada pelos artigos 85º e 86º do decreto n.º22-A/98.
- Sinalização de posição, regulamentada pelo artigo 87º do decreto n.º22-A/98, colocada de forma a garantir a proteção da área interdita (zona de trabalhos), bem como a segurança dos trabalhadores e uma facilidade de acesso às viaturas de assistência e socorro. É esta a sinalização que delimita a zona de obras ou o obstáculo presente na via;
- Sinalização final, informa os condutores do fim dos trabalhos e que as condições de circulação tornam a ser as normais (Artigo 88º, n.º22-A/98).

Segundo o DoT (2003) pode verificar-se uma divisão da zona de obras, utilizada nos Estados Unidos da América. A Figura 36 apresentada em seguida representa um esquema bastante semelhante ao que se demonstrou no Manual de Sinalização Temporária da Brisa, com um corte de via.

Como pode observar-se através da Figura 36, antes do local em que realmente decorrem os trabalhos, existe uma zona de aviso, preparando os condutores para as mudanças nas condições da estrada, mas também uma zona de transição e uma zona de proteção. Estas duas últimas zonas têm como principal objetivo aumentar a segurança tanto dos condutores, como também dos trabalhadores envolvidos nas obras. Existe também uma zona de proteção lateral, que se desenvolve perpendicularmente à obra, com o mesmo objetivo da anterior. Desta forma, os trabalhos encontram-se protegidos por uma margem de segurança, tanto longitudinalmente, como transversalmente.

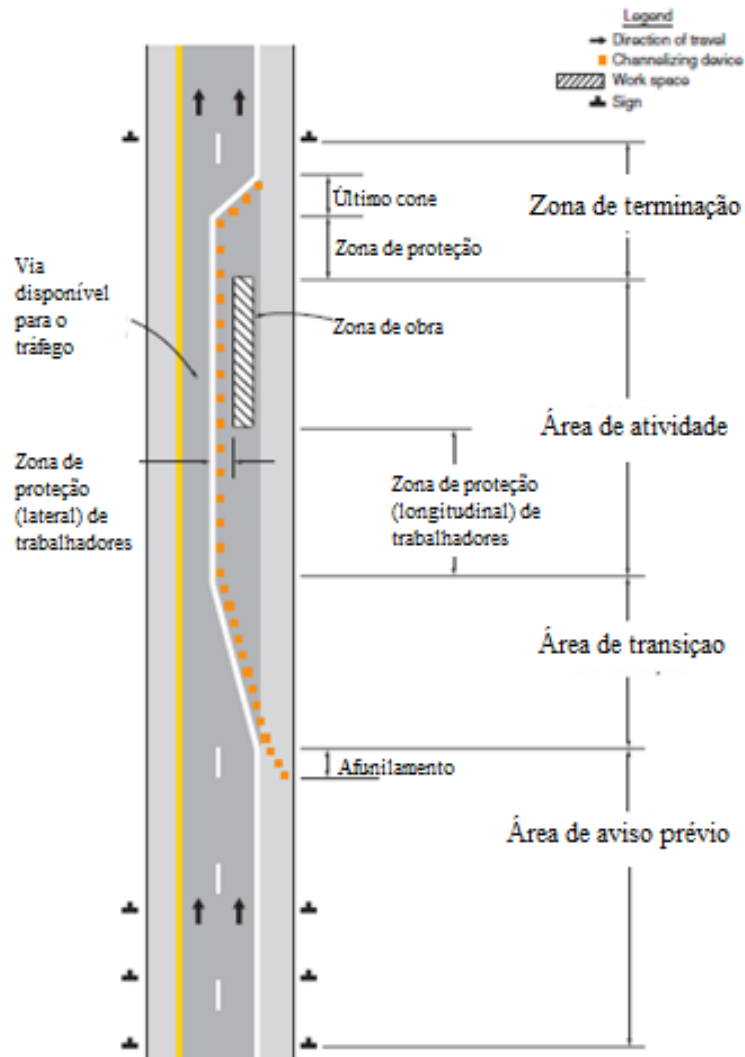


Figura 36 – Composição da sinalização em obras nos EUA (DoT 2003)

O posicionamento da sinalização, bem como as suas características, devem então responder aos seguintes objetivos:

- Ajudar os utentes da estrada, revelando a informação de forma relevante, com boas condições de visibilidade, fiável e atempadamente, assegurando a adaptação do tráfego às condições do local. Os condutores devem ser informados das condições de tráfego, restrições e vias alternativas. Além disso, devem ser avisados de todos os perigos existentes no local das obras e imediações e ser guiados de forma segura até ao final da zona de trabalhos;
- Devem ser aplicadas regras na zona de trabalho com o intuito de favorecer a adoção de comportamentos corretos. O reforço do cumprimento das regras deve ser assegurado;

- Proporcionar aos trabalhadores um ambiente de trabalho seguro, bem como a outros utilizadores da via, especialmente os mais vulneráveis.

Por forma a garantir o cumprimento dos pressupostos referidos anteriormente no que ao comportamento dos utilizadores das vias em obras diz respeito, devem ser tomadas algumas medidas, designadamente, a exatidão, correto posicionamento e tempo de perceção, compreensibilidade, assegurar o aviso atempado e ser razoável.

No que toca à questão da exatidão, as medidas de segurança devem corresponder ao expectável, com a presença de trabalhadores a ser devidamente identificada. A sinalização deve acompanhar a obra no espaço e no tempo, devendo ser removida quando esta não for necessária. As mensagens não devem ser contraditórias entre si, sob pena de criarem dúvida ao utilizador da via e conseqüentemente um aumento do risco de acidente.

O posicionamento da sinalização deve permitir ao condutor o processamento de toda a informação de uma forma correta, de maneira a possibilitar que este decida e reaja atempadamente. As decisões devem ser, na medida do possível, tomadas uma de cada vez.

Os conceitos de distância entre sinais e velocidade da via assumem especial ênfase nesta medida. A distância entre sinais depende da velocidade praticada na via e da tipologia da mesma, isto é, quanto maior for a velocidade praticada na via, maior deve ser a distância entre sinais.

Os limites de velocidade podem ser encontrados no manual de sinalização temporária da JAE. As limitações de velocidade impostas devem ser de 20 em 20 Km/h, por forma a permitir uma redução segura da velocidade. Os limites de velocidade a impor variam consoante a situação de obra. Sendo assim, podemos observar as correspondências na seguinte Tabela 12.

Tabela 12 – Limites de velocidade a impor consoante o tipo de obra (Estradas 1997)

| Situação | Limite de velocidade a impor |
|--|---------------------------------------|
| Nenhum impedimento nas vias ou trabalhos restringidos às bermas direitas ou passeios | o imposto pela sinalização permanente |
| Restrição a 1 via de circulação alternada | 50 km/h |
| Restrição a 1 via de lentos | 70 km/h |

Existem várias razões que justificam a adoção de limites de velocidades inferiores nas zonas de obras em relação às zonas sem obras. Existem alguns fatores que importam ter em conta na determinação dos limites de velocidade:

- Adaptação às condições da estrada: vias estreitas, desvios ou redução de bermas. Mudanças na geometria da estrada são frequentes nas zonas em obras, sendo necessária a adoção de velocidades mais baixas por forma a evitar a saída dos veículos da estrada (e colisões com objetos).
- Proteção dos trabalhadores: Mesmo que não existam alterações na geometria da via (por exemplo se não existirem desvios), a presença de trabalhadores necessita de uma redução das velocidades praticadas, por forma a reduzir a probabilidade de colisões graves entre veículo e trabalhador.
- Formação de filas: Em autoestradas ou estradas com grandes volumes de tráfego, o corte de vias pode resultar na formação de filas, o que pode aumentar a probabilidade dos acidentes frente-traseira por parte de automóveis que se aproximem de uma fila inesperada- a não ser que as velocidades sejam reduzidas atempadamente (Athens 1996-1998).

A Tabela 13, retirada do manual de sinalização temporária da JAE, de 1997, mostra a relação entre as velocidades praticadas nas vias e correspondentes distâncias entre sinais a adotar. No manual de sinalização temporária efetuada pela Brisa em 1998, pode observar-se a distância entre sinais a adotar para velocidades superiores a 100 Km/h, de 250m.

Tabela 13 – Relação entre a velocidade praticada nas vias e a distância entre sinais (Estradas 1997)

| Velocidade | | Distância entre sinais |
|-------------------|----------------------------|------------------------|
| | Inferior ou igual a 60km/h | 50 m |
| Superior a 60km/h | Inferior ou igual a 80km/h | 100 m |
| Superior a 80km/h | | 150 m |

Pode ainda ler-se nestes documentos uma referência aos sinais de aproximação e final. No caso destes, não deverão ocupar parcela alguma das vias de circulação abertas ao tráfego, mas situarem-se sobre as bermas ou dentro de zona delimitadas.

Ainda acerca da posição dos sinais, o primeiro sinal de sinalização avançada deve ser colocado, antes da zona de obra, a uma distância de 600 metros no caso de auto estradas ou 400m nas restantes vias. No entanto, estas distâncias podem ser alteradas consoante as condições existentes nas zonas em trabalhos, podendo esta distância ser reduzida para 150 metros fora das localidades e 30 metros dentro das localidades.

O primeiro sinal de limitação de velocidade deve ser colocado a uma distância não superior a 400 metros ou a 300 metros da zona de obras ou obstáculo, conforme se trate de uma autoestrada ou restantes vias públicas, respetivamente. A sinalização final deve ser colocada 100 metros após o final da obra.

Nas estradas onde estejam presentes trabalhos com uma extensão superior a dois quilómetros, devem ser colocados sinais a relembrar os condutores das condições da via, quer sejam sinais de limite de velocidade, outras restrições ou condições especiais.

O tamanho dos sinais deve variar consoante o tipo de estrada e características da mesma, principalmente a velocidade praticada na via, de resto à semelhança dos sinais normais.

Segundo o Government (2009), existe uma relação entre a velocidade máxima praticada numa via e a distância a que, pelo menos, devem ser vistos os sinais, quando um condutor se aproxima da obra. Esta relação encontra-se exposta na Tabela 14.

Tabela 14 – Relação entre a velocidade praticada na estrada e a distância a que os sinais devem ser vistos (Government 2009)

| Limite de velocidade máximo (Km/h) | Distância a que a sinalização deve ser visível (m) |
|------------------------------------|--|
| 65 | 70 |
| 80 | 80 |
| 100 | 100 |

A sinalização deve ser auto explicativa, isto é, deve ser óbvia, de forma a assegurar os comportamentos desejáveis referidos anteriormente, por parte dos condutores que se inserem na via em obras. Tendo em conta o aumento de viagens entre os diversos países, é necessário ter em conta a barreira linguística. Sendo assim, é preferível a adoção de sinalização que não recorra, ou recorra o mínimo possível a mensagens escritas.

Por forma a ser efetiva, a sinalização temporária não deve ser excessiva, devendo seguir o princípio “o menor número de sinais, mas todos os que forem necessários” (Athens 1996-1998).

A Figura 37 pretende ilustrar três situações, uma em que a sinalização não é clara, uma outra em que esta é excessiva e por fim uma situação em que a sinalização imposta é simples e eficaz.

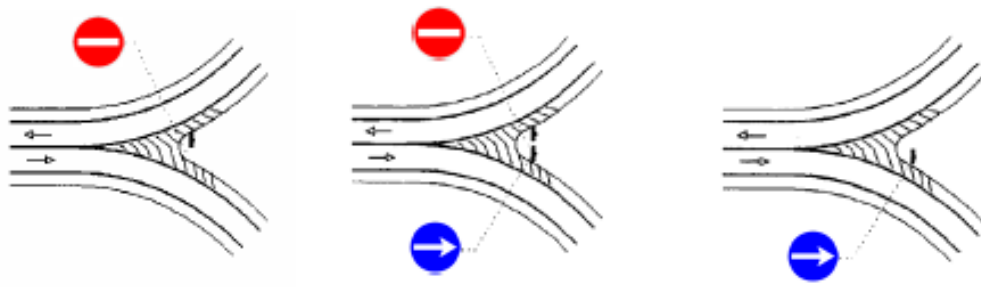


Figura 37 – Sinalização insuficiente, excessiva e explicativa (Roque 2005)

3.4. Análise crítica da sinalização vertical em obras

A sinalização a colocar numa zona de trabalhos na via é composta por sinalização de aproximação, da qual fazem parte a pré sinalização, a sinalização avançada e a intermédia. As sinalizações de posição e final complementam a sinalização colocada em zonas em obras.

Serão dados alguns exemplos de sinalização utilizada, por forma a perceber as principais diferenças em relação à sinalização normal. Para isso, será tido como base o manual de sinalização temporária, cedido pela empresa Cândido José Rodrigues (CJR), baseado no Manual de Sinalização Temporária da JAE, bem como documentos sobre sinalização temporária referente a outros países, nomeadamente Reino Unido e EUA.

Sinalização de aproximação

Pré-Sinalização

Sinalização efetuada com recurso aos sinais de indicação previstos no n.º3 do artigo 98.º do regulamento n.º22-A/98.

De noite é obrigatória a colocação, nos vértices superiores do primeiro sinal, de um dispositivo luminoso com as características definidas no n.º3 do artigo 93.º do regulamento n.º22-A/98.

São exemplos de pré sinalização as Figuras 38 e 39.

Número e sentido das vias de trânsito (Sinais ST1a até ST1d)



Figura 38 – Número e sentido das vias de trânsito

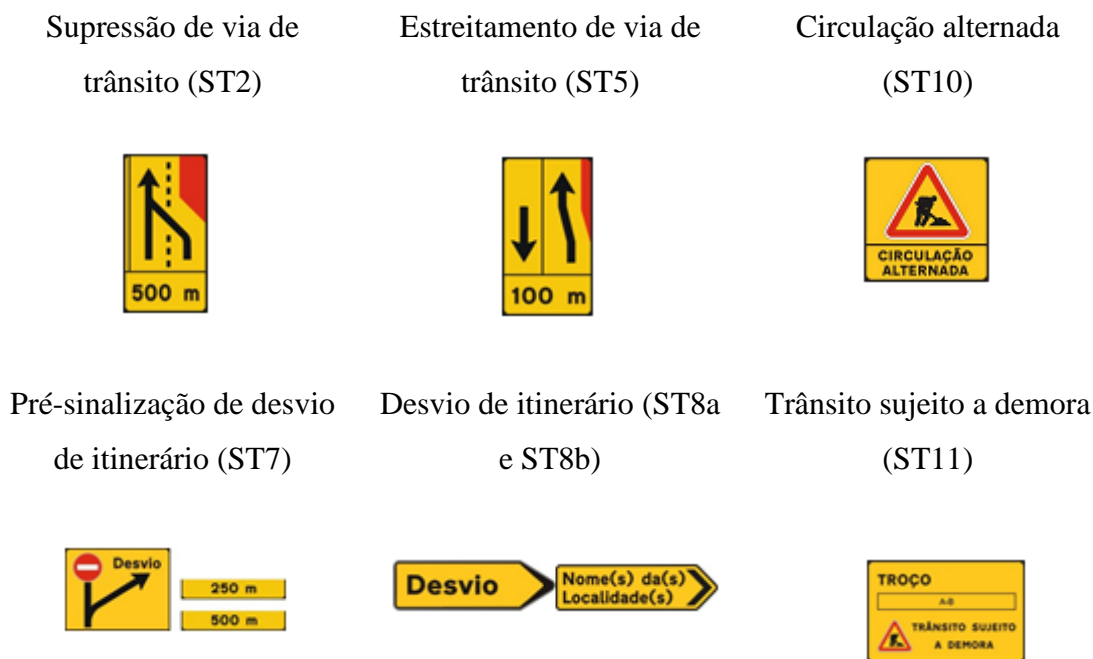


Figura 39 – Pré-sinalização

Sinalização avançada

Este tipo de sinalização deve ser feito com recurso aos sinais de perigo a que se referem os n.ºs 1 e 2 do artigo 90.º do regulamento n.º22-A/98. A colocação do sinal A23 é obrigatória (Figura 40).

De noite, sempre que a visibilidade seja insuficiente, é obrigatória a colocação de uma luz intermitente no vértice do primeiro sinal com as características definidas no n.º3 do artigo 93.º do regulamento já citado.

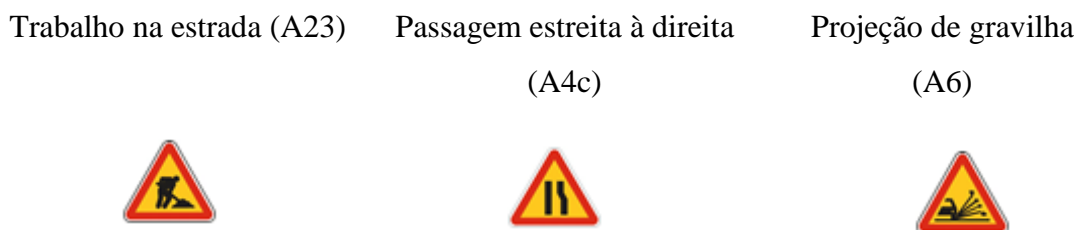


Figura 40 – Sinalização Avançada (Continua)

Bermas baixas (A7)

Sinalização luminosa (A22)

Outros perigos (A29)



Figura 40 – Sinalização avançada

Sinalização intermédia

Este tipo de sinalização não possui características específicas adaptadas a situações de obra. A materialização deve ser feita com recurso aos sinais de proibição de ultrapassar ou de cedência de passagem previstos no capítulo II do regulamento n.º22-A/98. A Figura 41 demonstra alguns exemplos deste tipo de sinalização.

A proibição de ultrapassagem deve ser aplicada caso exista um estreitamento considerável da faixa de rodagem, seja suprimida alguma via de circulação ou então quando exista um desvio do tráfego.

Trânsito proibido (C2)

Proibido ultrapassar (C14a)

Sentido proibido (C1)



Proibido exceder a
velocidade de ... Km/h
(C13)

Cedência de passagem nos estreitamentos da faixa de
rodagem (B5)



Figura 41 – Sinalização intermédia

Sinalização de posição e dispositivos complementares

A sinalização de posição deve ser materializada com recurso aos sinais de obrigação previstos no capítulo II do regulamento n.º22-A/98. Os dispositivos complementares devem seguir o mesmo regulamento, cumprindo o artigo 93.º (Figura 42).

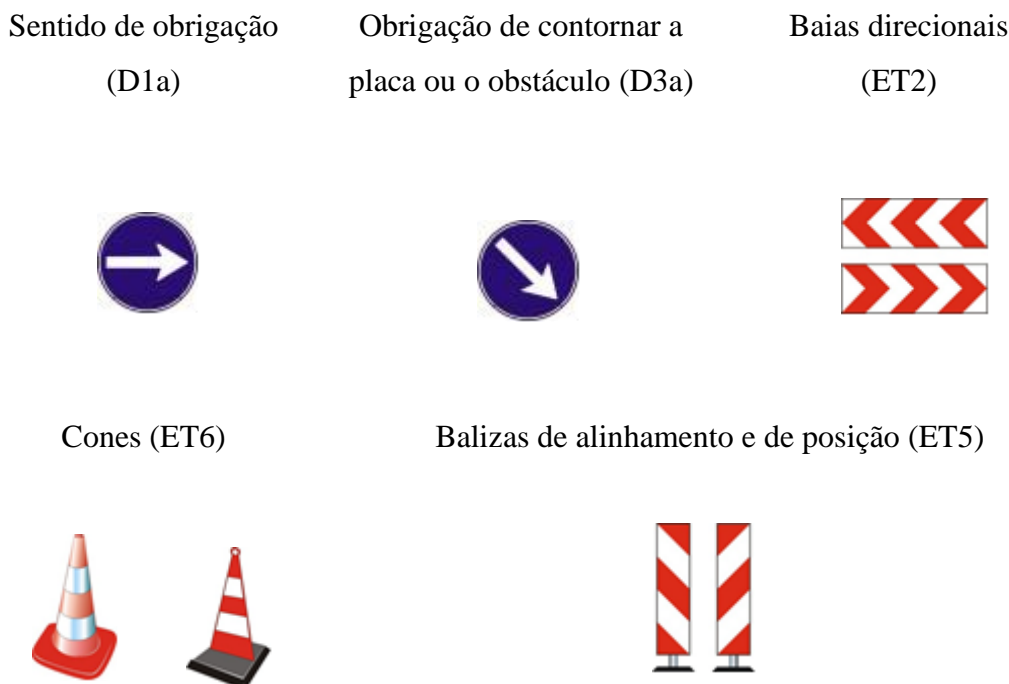


Figura 42 – Sinalização de posição e dispositivos complementares

Sinalização final

Logo que seja possível o regresso às condições normais de circulação deve ser colocada a sinalização final. Esta deve ser materializada com recurso aos sinais de fim de proibição anteriormente imposta e ainda ao sinal ST14. Podem encontrar-se exemplos deste tipo de sinalização na Figura 43.

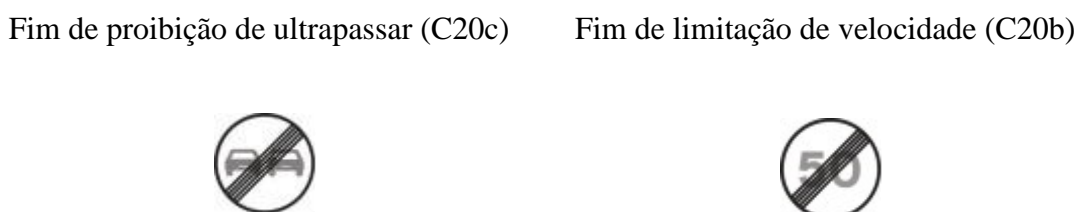


Figura 43 – Sinalização final (Continua)

Fim de todas as proibições impostas anteriormente por sinalização a veículos em marcha (C20a)



Fim de obras (ST14)



Figura 43 – Sinalização final

Nos Estados Unidos da América, segundo o (mutcd2009), a sinalização a utilizar em zonas de obras divide-se em três categorias: sinalização regulamentar, de aviso e de orientação.

As dimensões dos sinais encontram-se normalizadas, variando conforme o tipo de estrada onde decorrem as obras, havendo, para a grande maioria, dimensões mínimas a adotar.

Sinalização regulamentar

A sinalização regulamentar (Figura 44) tem como função informar os condutores das leis impostas no local, tornando claro quais os comportamentos que devem ser adotados, comportamentos esses que não seriam tão evidentes caso a sinalização não se encontrasse no local.

Este tipo de sinalização é geralmente retangular, com legendas de cor preta em fundo branco, com exceção de alguns casos, como por exemplo o sinal de stop, o de proibição de entrada ou o de informação de via única.

Limite de velocidade na zona de trabalhos



Aguardar quando existe indicação stop

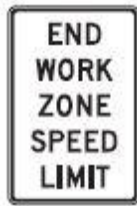


Circular devagar



Figura 44 – Sinalização regulamentar (Continua)

Fim de limite de velocidade
imposta na zona de obra



Caminho errado



Figura 44 – Sinalização regulamentar

Sinalização de aviso

Este tipo de sinalização tem como objetivo avisar os condutores de situações específicas na zona de trabalhos, bem como no espaço adjacente a esta.

A sinalização de aviso (Figura 45) deverá ser compatível com a sinalização de aviso já existente no local. Quando possível, esta deverá ser colocada na zona avançada da obra, anteriormente descrita como “Advance zone”, a distâncias variáveis, consoante o tipo de via em que se encontra a obra.

A sinalização de orientação, demonstrada na Figura 46, deve ser colocada como suplemento da sinalização de aviso, anunciando também a existência de desvios, ou funcionando como sinalização final.

Aproximação de
semáforos



Bermas baixas



Trabalhos na via



Figura 45 – Sinalização de aviso (Continua)

Estrada com uma via a 300 metros



Trabalhos na via a 300 metros



Aproximação de stop



Figura 45 – Sinalização de aviso

Sinalização de orientação

Fim de zona de trabalhos



Desvio



Saída disponível/indisponível



Figura 46 – Sinalização de orientação

No documento Government (2009), referente ao Reino Unido, a divisão da sinalização é feita segundo: sinais de gestão de tráfego; sinalização regulamentar; sinais de aviso; sinais de desvio temporário; sinalização de informação; sinais de mensagem variável.

No que diz respeito à sinalização em obras, o documento em questão apresenta uma divisão feita segundo a seguinte nomenclatura: sinalização avançada; Sinais e marcas já existentes; Sinais de controlo de tráfego; Sinalização geral; Cones e cilindros; Sinalização para restrições de vias, encerramentos e alteração de circulação; Sinais de informação; Sinalização avançada para estradas principais; Sinalização final.

Seguidamente serão apresentados alguns dos sinais supracitados.

Sinalização temporária de controlo de tráfego

Na Figura 47 estão representados alguns exemplos deste tipo de sinalização.



Figura 47 – Sinalização temporária de controlo de tráfego

Sinalização geral

Nesta sinalização encontramos sinalização presente em zonas de obras, bem como placas e sinais suplementares (Figura 48).

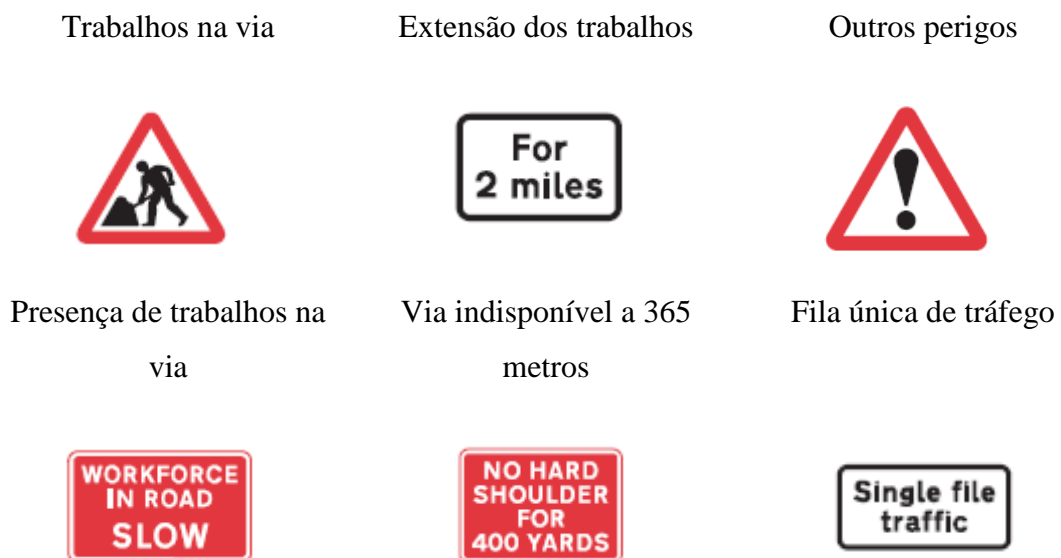
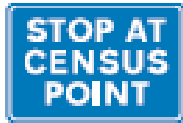


Figura 48 – Sinalização geral (Continua)

Parar em local sensato



Estrada encerrada



Trânsito regulado por sinais luminosos



Figura 48 – Sinalização geral

Sinalização para restrições de vias, encerramentos e alteração de circulação

Na Figura 49 encontram-se alguns exemplos da sinalização para restrições de vias, encerramentos e alteração de circulação.

Via central cortada, com os trabalhos a desenvolverem-se do lado direito



Desvio para estrada temporária



Duas vias cortadas



Via da direita cortada (Usar berma)



Velocidade máxima



Reboque gratuito



Figura 49 – Sinalização para restrições de vias, encerramentos e alteração de circulação

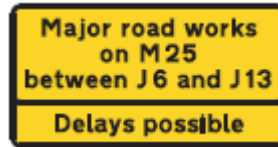
Sinalização avançada em estradas principais

Os exemplos deste tipo de sinalização encontram-se na figura seguinte (Figura 50).

Obras futuras



Obras a decorrer



Aviso sobre potenciais atrasos



Via cortada para proteção da zona de trabalhos



Figura 50 – Sinalização avançada em estradas principais

Sinalização Final

A sinalização final utilizada no Reino Unido tem como exemplo os seguintes sinais (Figura 51).

Fim de trabalhos na via



Figura 51 – Sinalização final

Analisando a sinalização presente nas zonas de trabalho nas estradas em Portugal, Reino Unido e Estados Unidos da América, as diferenças entre eles são notórias, desde a sua colocação no terreno, até às características de carácter físico, como as cores e formas.

No que diz respeito às características dos sinais, tendo em consideração o princípio da leitura e concentração, apresentada pelo Manual de Sinalização Temporária da JAE, a sinalização temporária em Portugal é de fácil leitura, utilizando preferencialmente símbolos e preterindo para segundo plano a utilização de texto ou legendas mais extensas, como é o caso do Reino Unido e EUA.

A adoção de símbolos ao invés de mensagens escritas favorece a percepção de condutores que se deslocam de outros países para Portugal, apesar de, no entanto, poder representar um problema para quem não conhece a simbologia. A sinalização nos Estados Unidos da América revelou, através da análise efetuada, apostar bastante nas mensagens e legendas, o que poderá revelar-se como uma situação potenciadora de acidentes em zonas de obras, pois exige um maior tempo de assimilação, por parte dos condutores, das condições existentes e respetivos comportamentos a adotar. Este tipo de sinalização também constitui um entrave a condutores que viagem até este país e não dominem a língua local.

Nesse sentido, o Reino Unido apresenta uma maior variedade no tipo de sinalização, alternando entre mensagens curtas e sinalização com símbolos.

Na cor dos sinais, verifica-se que no Reino Unido a sinalização geral, da qual fazem parte, por exemplo, o sinal de trabalhos na via ou o de supressão de via, tem a mesma cor da sinalização normal (bordo vermelho com fundo branco, semelhante à sinalização normal utilizada em Portugal), contrariamente ao que ocorre quer em Portugal, quer nos EUA, onde a coloração dos sinais temporários é alterada para amarela e laranja, respetivamente.

No que respeita à restante sinalização temporária, no Reino Unido verifica-se a existência de cores contrastantes, caso das mensagens brancas em fundo vermelho, anunciando por exemplo a necessidade de redução de velocidade por parte do condutor que se irá inserir na zona de obras.

As dimensões da sinalização são semelhantes no Reino Unido e em Portugal, sendo que a sinalização portuguesa é marginalmente maior, com os sinais de perigo a terem uma altura de 90 cm, face aos 75 cm verificados no Reino Unido. As dimensões dos sinais nos EUA, caso da sinalização de aviso em forma de losango são de cerca de 76 cm de lado.

Tendo em conta a ausência de informação relativamente a acidentes em zonas de obras, não é possível efetuar uma análise fiável acerca da influência e eficácia da sinalização temporária em evitar acidentes. No entanto, efetuando uma análise à sinistralidade geral, não considerando a sinistralidade em zona de obra, verificam-se menores números de vítimas mortais por milhão de habitante no Reino Unido, seguido de Portugal, ainda a alguma distância, com os EUA a registarem o maior número de fatalidades.

3.5. Análise crítica das marcas rodoviárias

As características e significado das marcas rodoviárias que são utilizadas no âmbito da sinalização temporária são as mesmas das utilizadas na sinalização permanente, com a exceção da cor, que é amarela.

Quanto à largura, esta não deve ser inferior a 12 cm. No caso das linhas descontínuas, a relação traço-espço a adotar deverá ser de 2.5m/1m, sendo que no caso da linha contínua deve ser adotado um comprimento mínimo de 20m e 30m, caso se insira dentro ou fora das localidades, respetivamente. Quando existir a impossibilidade de utilizar pintura (Figura 52) pode ser aplicada uma fita autocolante ou outro tipo de equipamento, como por exemplo marcadores.



Figura 52 – Marcação viária temporária

No documento *Transportation* (Transportation (2008)) referente ao departamento de transportes da Flórida, nos EUA, pode observar-se o uso de lombas temporárias, que deverão ser colocadas na aproximação das zonas de obras (Figura 53).

As lombas irão causar vibrações e farão com que o condutor ouça um determinado som, na aproximação à obra. Este equipamento é amplamente utilizado nos EUA, quer em zonas de obras, quer em aproximações a zonas de escolas, situações em que a geometria da estrada se pode revelar perigosa, como curvas apertadas ou sinais STOP.



Figura 53 – Lombas temporárias (Transportation 2008)

Outro tipo de dispositivo utilizado na marcação e delimitação de vias, que pode ser utilizado em contexto de obra, são as luzes na estrada, ou aparelhos refletores, conforme apresentado na Figura 54. Num estudo realizado por Transportation (2008), foi concluído que o uso de luzes na estrada reduz a velocidade dos veículos de 3 Km/h a 12 Km/h, não tendo no entanto um impacto significativo nos acidentes viários. Os autores referem contudo que o sistema não se encontrou em funcionamento em 100% da realização do estudo, o que poderá ter originado um desvio dos resultados obtidos.

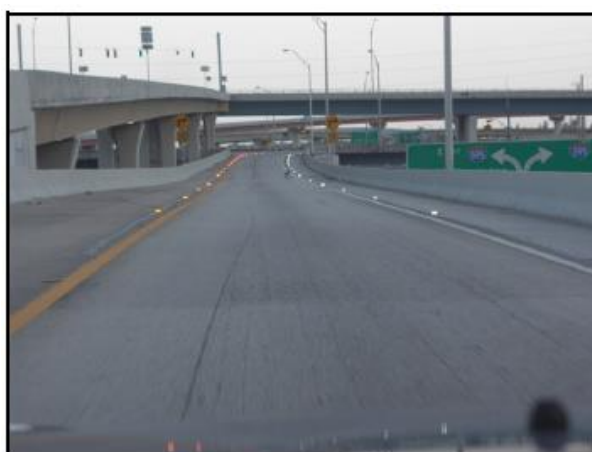


Figura 54 – Marcação com elementos refletores

3.6. Área adjacente à faixa de rodagem

Um conceito importante quando se fala em estradas, e consequentemente de obras em estradas é o de área adjacente à faixa de rodagem. Todos os elementos relativos à área adjacente à faixa de rodagem podem influenciar despistes e colisões entre veículos e objetos fora da faixa de rodagem, ou no interior da mesma (caso da maquinaria presente em obras na estrada), sendo de salientar as bermas, taludes, dispositivos de drenagem, dispositivos de retenção de veículos, postes de eletricidade ou de telefone.

A área adjacente à faixa de rodagem afirma-se como uma componente importante no projeto de estradas. A segurança rodoviária é afetada na sua globalidade pelo ambiente existente nas imediações da faixa de rodagem. De facto, cerca de um quarto dos acidentes mortais são devido a despistes e colisões entre veículos e objetos fora da faixa de rodagem (Roque 2011).

Os motivos associados à saída dos veículos da faixa de rodagem são vários, podendo ir desde a falta de atenção ou fadiga do condutor, até à fraca visibilidade, passando pelas manobras evasivas de obstáculos na faixa de rodagem, as condições da própria estrada ou a velocidade excessiva.

O sistema de transportes não se encontra muitas vezes adaptado ao facto dos condutores cometerem erros, como vemos ilustrado na Figura 55. Independentemente da estrada em análise, a zona livre, ou seja, a zona adjacente à faixa de rodagem despromovida de obstáculos, deve proporcionar ao condutor a circulação segura, a mais desobstruída possível.



Figura 55 – Área adjacente à faixa de rodagem (Obra CJR)

Esta zona livre refere-se á área correspondente à berma pavimentada, tendo as funções seguintes:

- Permitir aos veículos que saiam da faixa de rodagem a recuperação das suas trajetórias, através de uma manobra de correção de trajetória (mudança de direção ou travagem), podendo ser definida também como “zona de recuperação”;
- Ajudar a evitar colisões em cadeia, caso dos acidentes frente-traseira, que como já foi descrito, se assume como o principal tipo de acidente em estradas em obras;
- Permitir a utilização da estrada em segurança, por parte de ciclistas e peões;
- Fornecer espaço para imobilização de veículos;
- Facilitar as operações de conservação da faixa de rodagem e dos elementos que lhe estão associados, nomeadamente maquinaria, sinalização e trabalhadores.

De acordo com McGee, Hughes et al. (1995), a supressão, ou a remoção para locais mais afastados da faixa de rodagem de obstáculos perigosos que possam existir junto ao limite da mesma, resulta numa redução do número de acidentes. A percentagem apresentada na Tabela 15 aplica-se independentemente das condições iniciais do local. No entanto, nas estradas em que a zona livre seja reduzida ou mesmo inexistente, sendo a probabilidade de ocorrência de acidentes maior, a redução de acidentes (em termos absolutos), será superior neste tipo de estradas.

Tabela 15 – Relação entre a largura da zona livre e a redução da percentagem de acidentes (McGee, Hughes et al. 1995)

| Valor do aumento da largura da zona livre (m) | Redução no total de acidentes relacionados com a AAFR (%) |
|---|---|
| 1.5 | 13 |
| 2.4 | 21 |
| 3.0 | 25 |
| 3.7 | 29 |
| 4.6 | 35 |
| 6.1 | 44 |

O conceito de área adjacente à faixa de rodagem desempenha um papel muito importante em todo o tipo de acidentes, nos quais se englobam os acidentes em zonas de obras. A Tabela 16, retirada do manual elaborado por Roque (2011), apresenta o número de mortos e feridos graves por 10^6 veículos x km entre 2004 e 2007- valores médios e máximos.

Tabela 16 – Número de mortos e feridos graves por 10^6 veículos p/Km (Roque 2011)

| | | Despistes | Outros |
|------------------------|--------|-----------|--------|
| Faixa de rodagem única | Média | 0.028 | 0.043 |
| | Máximo | 0.640 | 0.728 |
| Dupla faixa de rodagem | Média | 0.014 | 0.011 |
| | Máximo | 0.807 | 0.607 |

3.7. Sistemas de controlo de tráfego em zonas de obra

O recurso a corte de vias em estradas em obras é frequente. Sendo assim, existe a necessidade de orientar os automóveis, intercalando a sua passagem pela zona de trabalhos. Nesse sentido, podem identificar-se três métodos distintos, nomeadamente a sinalização luminosa, o sistema stop/go e ainda o sistema de bandeira.

Os sinais luminosos presentes nas estradas em obras caracterizam-se por serem portáteis, podendo ser utilizados em obras com um período de tempo relativamente curto, numa variedade muito grande de ambientes. Os tempos de verde e vermelho deverão ser aqueles que trazem o mínimo distúrbio para ambas as vias de circulação.

Outro exemplo, o sistema stop/go, pode ser utilizado em faixas de rodagem com uma via em cada sentido, e consiste no controlo do tráfego, através de placas de stop/go, manuseadas por um controlador ou controladores. Este sistema deve ser utilizado unicamente quando a avaliação do risco demonstrar que os sinais luminosos não são os mais adequados (Government 2009).

O sistema stop/go é apropriado para trabalhos de curta duração ou em trabalhos móveis que desenvolvem de forma rápida no tempo e no espaço e deve ser utilizado unicamente quando o tráfego não ultrapassa os valores estabelecidos na Tabela 17.

Ou seja, existe uma relação entre o comprimento da obra e os volumes de tráfego durante uma hora e em três minutos.

O uso deste sistema é mais apropriado para o período diurno com boas condições de visibilidade. Em estradas em que se pratiquem velocidades elevadas, não é recomendável a utilização deste método de controlo de tráfego, principalmente em trabalhos no período noturno.

Tabela 17 – Valores de tráfego limites para a utilização do sistema stop/go (Government 2009)

| Comprimento da obra (m) | Volume máximo de tráfego nas duas vias | |
|-------------------------|--|------------|
| | (Vei/h) | (Vei/3min) |
| 100 | 1400 | 70 |
| 200 | 1250 | 63 |
| 300 | 1050 | 53 |
| 400 | 950 | 47 |
| 500 | 850 | 42 |

No entanto, quando este é utilizado à noite, devem ser utilizadas raquetes refletoras, ou com iluminação adequada, do tipo representado na Figura 56.



Figura 56 – Raquetes utilizadas no sistema stop/go (Government 2009)

A Figura 57 representa então o sistema em questão, bem como a restante sinalização temporária, numa estrada com uma via em cada sentido, no Reino Unido.

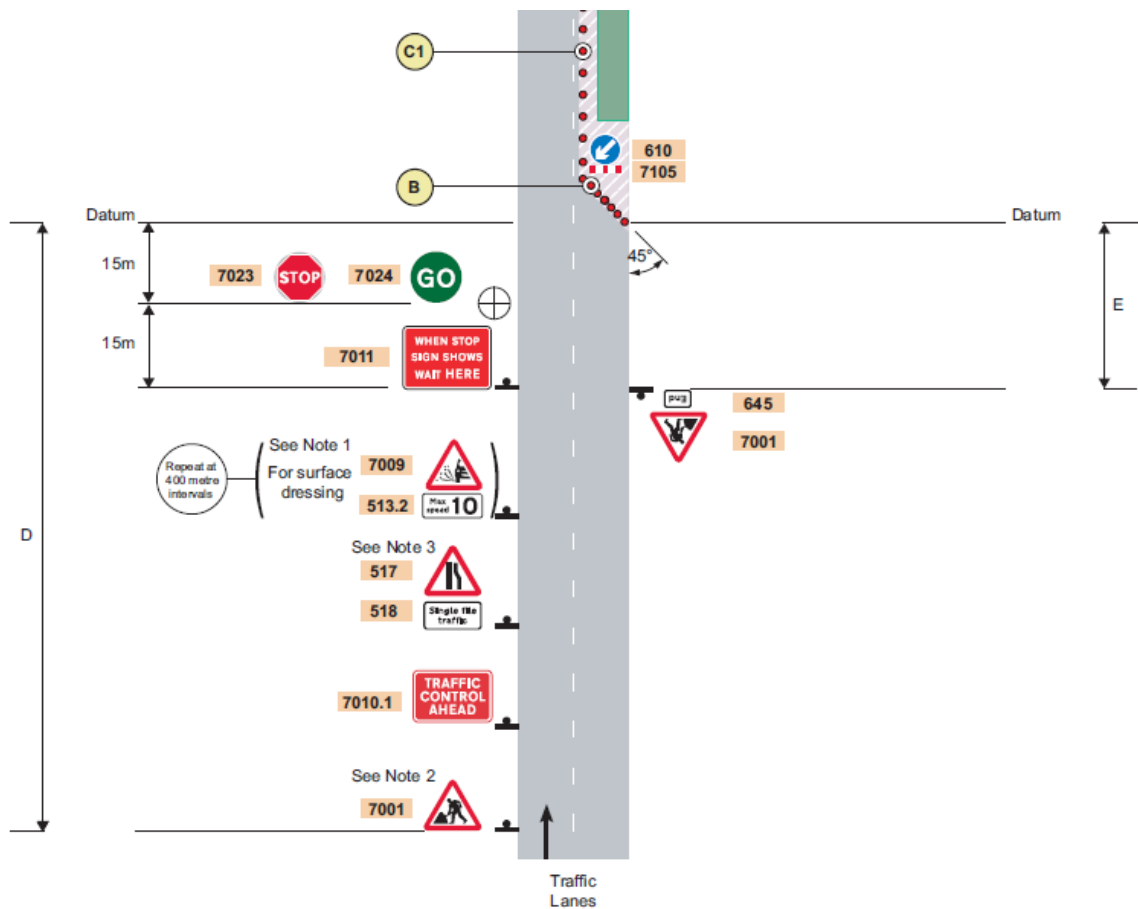


Figura 57 – Sistema stop/go (Government 2009)

Este tipo de sistema também se encontra regulamentado em Portugal, segundo o artigo 93.º do regulamento de sinalização do trânsito. À semelhança do que ocorre no Reino Unido, também em Portugal o uso de raquetes é aconselhável em trabalhos de carácter temporário, onde se preveja uma rápida remoção do obstáculo.

A Figura 58, retirada do Manual de Sinalização Temporária da JAE, representa o esquema de sinalização com controlo através de um sistema de raquetes numa faixa de rodagem com uma via em cada sentido.

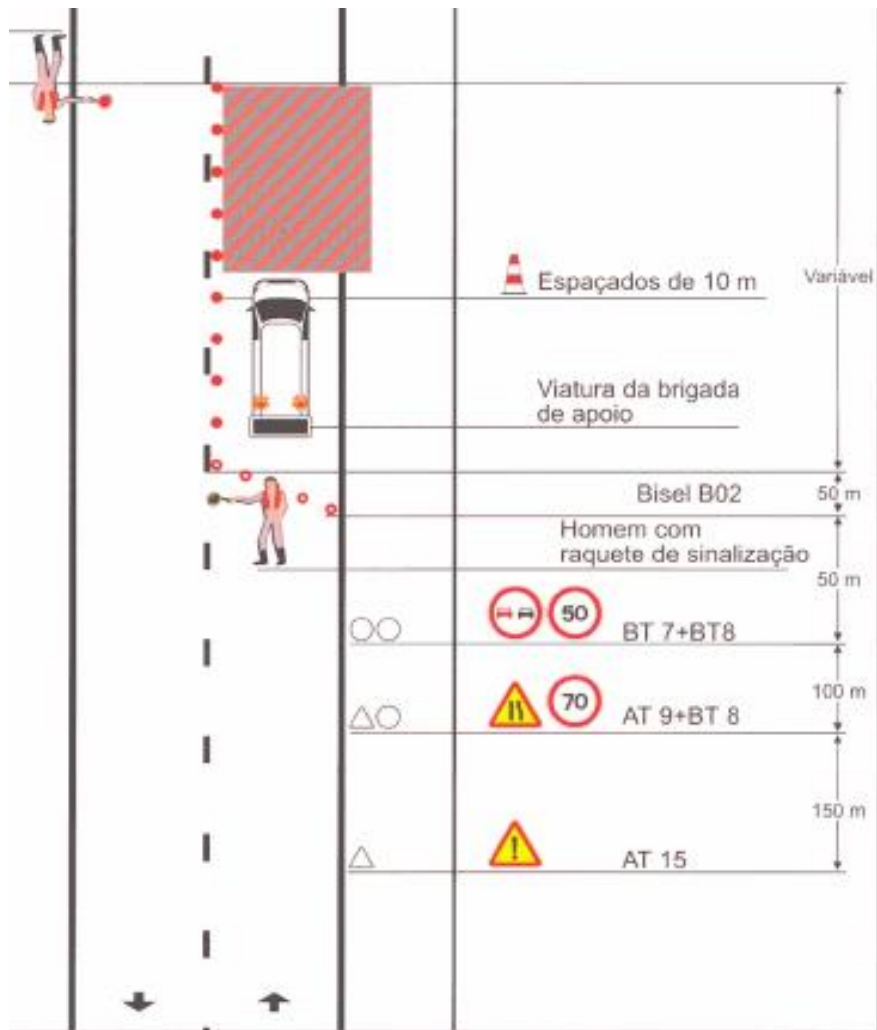


Figura 58 – Controlo de tráfego com recurso a raquetes (Estradas 1997)

O sistema de bandeira, ou transferência de bandeira pode ser utilizado quando numa estrada com duas vias, uma em cada sentido, o comprimento da zona de obra permite que o condutor, no início da obra, visualize o fim da mesma (DoT 2003).

O funcionamento consiste na passagem de uma bandeira, por parte do último condutor que está situado antes do corte de via, até ao primeiro condutor que pretende inserir-se na zona em obras, como ilustrado na Figura 59. Uma alternativa ao uso da bandeira consiste na existência de um carro piloto que acompanha o último veículo que se insere na zona de trabalhos, e assim sucessivamente.

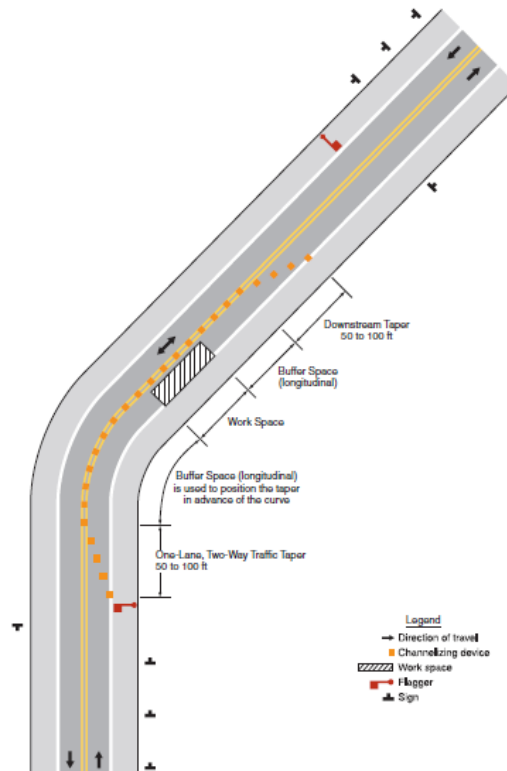


Figura 59 – Sistema de controlo de tráfego através de transmissão de bandeira (DoT 2003)

3.8. Estudo de caso

No âmbito da colaboração com a empresa Cândido José Rodrigues (CJR) foi efetuado o acompanhamento de uma obra, no concelho de Fafe, na Av. de Bouço.

A obra consistiu na introdução de infraestruturas de saneamento. A estrada intervencionada possui duas vias, uma em cada sentido. A Figura 60 pretende ilustrar o tipo de trabalho efetuado na obra.



Figura 60 – Introdução de saneamento

Como pode observar-se, apesar do trabalho se desenvolver na berma, existe a necessidade da utilização de uma das vias devido à permanência de maquinaria e trabalhadores junto à zona de trabalhos.

A sinalização foi colocada no local respeitando o decreto regulamentar n.º22-A/98 de 1 de Outubro. O esquema utilizado na obra foi retirado do Manual de Sinalização Temporária da JAE, referente a trabalhos fixos na totalidade da via, com circulação alternada regulada através da utilização de sinalização luminosa (F06) e pode ser visto na Figura 61.

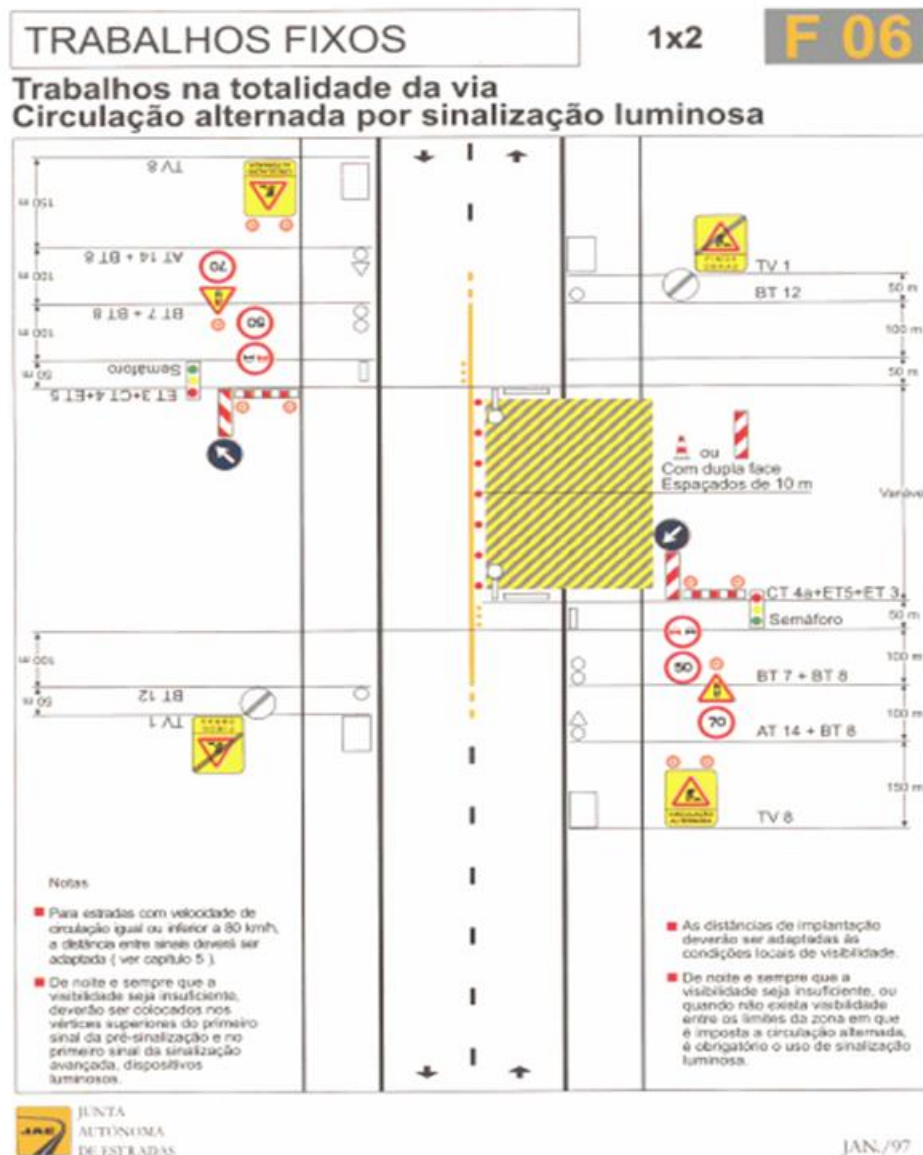


Figura 61 – Esquema de colocação de sinalização F06 (Estradas 1997)

A planta de sinalização da obra pode observar-se na Figura 62.



Figura 62 – Planta de sinalização temporária

Nas Figuras 63 e 64 pode testemunhar-se a implementação no local da pré-sinalização, sinalização avançada e sinalização intermédia, através da utilização dos sinais ST10 (Circulação alternada), A22 (Sinalização luminosa), C13 (Limite de velocidade de 30 Km/h) e C14a (Proibição de ultrapassagem).



Figura 63 – Sinalização em obra (Sinais ST10 e A22)



Figura 64 – Sinalização em obra (Sinais C13 e C14a)

A sinalização de posição e dispositivos complementares, utilizadas para a proteção da área interdita aos condutores pode ser observada na Figura 65, com recurso ao sinal CT4 (Obrigação de contornar o obstáculo à direita) e dispositivo complementar ET2 (Baias direcionais).



Figura 65 – Sinalização em obra (Sinais CT4 e ET2)

Devido ao facto da obra se desenrolar num local muito próximo de um desenvolvimento em curva, a distância entre sinais sofreu alterações em relação às distâncias legisladas, no sentido de aumentar a segurança dos condutores, permitindo um aviso mais atempado das condições do local.

No sentido de permitir a alternância de circulação dos veículos, devido ao facto da circulação se efetuar numa só via, e seguindo as diretrizes do esquema do Manual de Sinalização Temporária da JAE, foi implementado um sistema semafórico (Figuras 66 e 67).



Figura 66 – Sistema semafórico em obra



Figura 67 – Sistema semafórico em obra

Durante a duração da obra (45 dias), não foram registados acidentes.

O acompanhamento da obra permitiu testemunhar a aplicação da sinalização e toda a logística associada à elaboração de uma obra desta tipologia. O papel da sinalização temporária e dispositivos de controlo de tráfego afirmou-se como fulcral no bom funcionamento da circulação, aumentando a segurança para os condutores. Pôde verificar-se que o corte de via levou à ocorrência de leves congestionamentos de trânsito, com formações de pequenas filas. No entanto, esta observação foi efetuada no período da tarde, fora da hora de ponta, hora onde o impacto da obra na circulação automóvel poderia ser mais significativo.

4. MODELOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES EM ZONA DE OBRA

4.1. Enquadramento

O risco de acidente para um condutor que circule numa zona de obra pode ser analisado estimando a frequência de acidentes que podem ocorrer durante o período de obra. Os modelos de acidentes em zona de obra são uma ferramenta que, não só permite apoiar a determinação do risco de acidente como também identificar as variáveis que mais contribuem para os mesmos e a partir destas identificar as obras com maior potencial de acidente.

Esta informação poderá representar uma mais valia para os responsáveis das obras, dando a noção do número de acidentes esperados durante o período de execução da obra, e com isso possibilitar um planeamento mais otimizado dos trabalhos, no que diz respeito, por exemplo, aos planos de sinalização temporária.

Neste capítulo pretende-se mostrar quais as variáveis importantes na determinação do risco de acidente numa zona de obra, nomeadamente no que se refere à frequência dos acidentes com mortos e feridos ou com danos materiais.

Numa segunda fase o objetivo passa pelo desenvolvimento de um modelo de previsão da frequência de acidentes, adaptado às condições viárias de algumas estradas nacionais.

4.2. Metodologia

O estudo que se apresenta neste capítulo contém três fases principais: (1) Análise de sensibilidade de um modelo de previsão da frequência de acidentes; (2) Análise de sensibilidade de um modelo de cálculo da taxa de acidentes; (3) Formulação de um modelo de previsão da frequência de acidentes com mortos e feridos.

Numa primeira fase, do conjunto de modelos de frequência de acidentes em zonas de obra abordados anteriormente, foram selecionados aqueles que continham as variáveis mais utilizadas, nomeadamente o tráfego, comprimento e duração de obra ((Ozturk, Ozbay et al. 2013), (Yang, Ozbay et al. 2013), (Nemeth and Migletz 1978), (Venugopal and Tarko 2000), (Sun, Edara et al. 2014)).

Os modelos de gravidade de acidentes não foram abordados na parte prática pois neste tipo de modelos o número de variáveis envolvido é elevado, não sendo possível, no tempo disposto, a recolha de toda a informação necessária.

Entre os modelos de previsão da frequência de acidentes, foi selecionado o preconizado por Sun, Edara et al. (2014), tendo sido efetuada uma análise de sensibilidade do mesmo, por se tratar de um modelo que incorpora os fatores de risco mais importantes associados à sinistralidade em obra, permitindo analisar não só os acidentes com mortos e feridos, como também os acidentes com danos materiais.

Com a análise de sensibilidade pretende analisar-se a adequabilidade do modelo às condições viárias existentes em Portugal, nomeadamente numa amostra de estradas nacionais selecionada.

Para a elaboração da análise de sensibilidade foram necessários os seguintes dados:

- Conjunto de obras, em diversas estradas nacionais;
- Dados relativos ao comprimento e à duração das obras;
- Localização das estradas;
- Tráfego médio diário anual das estradas onde foram realizadas as obras;
- Registo de acidentes dessas mesmas estradas.

O conjunto de obras utilizado na análise de sensibilidade foi amavelmente cedido por uma empresa, encontrando-se na Tabela 18.

Os dados de tráfego relativos às estradas consideradas foram disponibilizados pelas Infraestruturas de Portugal (IP). O número de acidentes ocorridos durante o período em que se desenvolveram as obras foram fornecidos pela Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANRS).

Tabela 18 – Lista de obras (Continua)

| Nº | Local | Designação | Estrada |
|----|-------|--|---------|
| 1 | Gmr | Requalificação da EN 206 entre a ponte de brito e rotunda de brito - Pevidém - brito | EN206 |
| 2 | Gmr | Requalificação da EN 101 entre Fermentões e Caldelas | EN101 |
| 3 | Gmr | Requalificação da antiga EN. 310 - Silvares / Pevidém | EN310 |
| 4 | Gmr | Reperfilamento da rua moura machado - Azurém | EN207-4 |
| 5 | Gmr | Pavimentação EN 580, estrada de acesso ao complexo turístico | EN580 |
| 6 | Gmr | Rua da Agrela | EN580 |
| 7 | Gmr | Rua do souto - Selho S. Jorge | EN580 |
| 8 | Gmr | Rua da carreira até ao limite do concelho | EN580 |
| 9 | Gmr | Reperfilamento da EN 206 - Silvares | EN206 |
| 10 | Gmr | Construção de uma rotunda na EN 101, junto da urbanização do rio - Ponte | EN101 |
| 11 | Gmr | Variante de Campelos - Ponte | EN101 |

| Lista de obras (Continuação) | | | |
|------------------------------|--------------------|--|---------|
| Nº | Local | Designação | Estrada |
| 12 | Gmr | Repavimentação na EN 310/Serzedelo e execução de rede de saneamento nas ruas de castro e Varziela em Serzedelo | EN310 |
| 13 | Porto | Ligação ao viaduto da prelada - troço norte e poente | EN12 |
| 14 | Fafe | C.m.1685 da EN 207 a Ortezedo - Silvares S. Martinho | EN207 |
| 15 | Fafe | Beneficiação da EM 612-1 (rua da restauração) desde a EM 207 até ao entroncamento para a barragem - Travassós | EN207 |
| 16 | Vila nova Cerveira | Acessos á ponte internacional de Cerveira/Goian-ligações viárias a Vila Nova de Cerveira e à EN 13 - 2ª fase | EN13 |
| 17 | Fafe | Beneficiação e retificação da rua da Cumieira e rua Guerra Junqueiro | EN311 |
| 18 | Fafe | Requalificação da rua Luís de Camões, rua dos aliados e rua cidade de Guimarães | EN207 |
| 19 | Santo tirso | Recuperação de pavimento da rua 25 de abril - Rebordões | EN105 |
| 20 | Fafe | Requalificação da rua José Cardoso vieira de castro - Fafe | EN207 |

Numa segunda fase foi feita uma análise de sensibilidade do modelo de cálculo da taxa de acidentes elaborado por Khattak, Khattak et al. (2002).

A taxa de acidentes é um indicador do número de acidentes por milhão de veículos por km, podendo ser calculada tanto para acidentes com vítimas mortais como para acidentes com feridos. Esta análise pretende mostrar quais as variáveis mais importantes dentro do modelo, tendo sido escolhida a expressão de Khattak, Khattak et al. (2002) por utilizar os fatores que revelaram ser significativas no estudo da sinistralidade em zonas de obra, nomeadamente o TMDA, o comprimento de obra e a duração da mesma.

Os dados utilizados na análise de sensibilidade do modelo para o cálculo da taxa de acidentes foram os mesmos que haviam sido utilizados na análise de sensibilidade do modelo de previsão da frequência de acidentes de Sun, Edara et al. (2014).

Numa terceira fase foi elaborado um modelo de previsão da frequência de acidentes com vítimas mortais e feridos. Este modelo representa uma primeira aproximação à previsão da sinistralidade em zonas de obra, uma vez que se dispõe de um número reduzido de obras e por isso uma amostra pequena.

As variáveis utilizadas na formulação do modelo foram as mesmas do modelo de Sun, Edara et al. (2014), procurando assim formular-se um modelo que permita prever a sinistralidade nas estradas com características semelhantes às disponíveis na amostra.

Efetuada o modelo, este foi aplicado ao conjunto de obras disponível, efetuando-se posteriormente a comparação dos acidentes previstos e os acidentes observados, fornecidos pela Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária para o conjunto de obras selecionado.

4.3. Análise de sensibilidade de modelo de previsão do número de acidentes

No modelo de Sun, Edara et al. (2014), o cálculo dos acidentes com mortos e feridos ou com danos materiais difere no estabelecimento dos parâmetros β . Na Tabela 19 estão apresentados os parâmetros do modelo para cada tipo de acidente, a partir dos quais se fez a análise.

Tabela 19 – Parâmetros utilizados no modelo de Sun, Edara et al. (2014)

| Coefficientes | β_1 (Tráfego) | β_2 (Duração) | β_3 (Comprimento) | β_4 (Fator Urbano) | β_5 (Zona de obra) | β_6 |
|---------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|
| Vitimas Mortais e feridos | 1.0051 | 0.9769 | 0.5882 | 0.7462 | 0.1387 | -14.8124 |
| Danos materiais | 0.9566 | 1.0148 | 0.5794 | 0.7009 | 0.2007 | -13.3528 |

Para o conjunto de estradas referido, foi efetuada a média do TMDA de todas as estradas em obra, bem como a média dos comprimentos e durações das obras.

Para a análise de sensibilidade, além dos valores médios do TMDA, comprimento e duração de obra, foram ainda utilizados os valores máximo e mínimo de cada variável e variações de 50% dos valores médios.

Todos os valores referidos encontram-se representados na Tabela 20. Estes valores são referentes ao conjunto de obras apresentado anteriormente.

Tabela 20 – Valores utilizados na análise de sensibilidade

| | TMDA | Comprimento de obra (m) | Duração da obra |
|------------------|-------|-------------------------|-----------------|
| Valor médio | 10297 | 1649 | 350 |
| Valor mínimo | 128 | 214 | 45 |
| Valor máximo | 33812 | 5190 | 664 |
| 1.5x Valor Médio | 15446 | 2474 | 525 |
| 0.5x Valor Médio | 5148 | 824.875 | 175 |

O procedimento de análise seguido foi o seguinte:

- Estabelecimento de uma situação base, com o cálculo efetuado considerando os valores médios do TMDA, comprimento e duração de obra;
- Cenário em que se efetua uma variação de 50% do TMDA, mantendo os valores médios referentes ao comprimento e duração da obra;
- Cenário em que se varia 50% do valor do comprimento de obra, mantendo o TMDA e a duração de obra nos valores médios;
- Cenário em que se varia 50% o valor da duração de obra, mantendo o TMDA e o comprimento de obra nos valores médios.

4.4. Acidentes com mortos e feridos

Os cenários utilizados na análise de sensibilidade do modelo de previsão de acidentes com mortos e feridos e respetivos resultados encontram-se na Tabela 21.

Tabela 21 – Análise de sensibilidade do modelo de acidentes com vítimas mortais/feridos

| Vítimas mortais e c/feridos (Continua) | | | | | | |
|---|-------|--------------------------|------------------------|--------------|--------------|---------------------|
| Situação base (Cálculos utilizando valores médios) | | | | | | |
| Ano | TMDA | Comprimento de obra (Km) | Duração da obra (Dias) | Fator urbano | Zona de obra | Número de acidentes |
| 2013 | 10297 | 1.025 | 350 | 1 | 1 | 2.994 |
| Cálculo com variação dos valores do TMDA | | | | | | |
| Ano | TMDA | Comprimento de obra (Km) | Duração da obra (Dias) | Fator urbano | Zona de obra | Número de acidentes |
| 2013 | 128 | 1.025 | 350 | 1 | 1 | 0.036 |
| 2013 | 33812 | 1.025 | 350 | 1 | 1 | 9.890 |
| 2013 | 15446 | 1.025 | 350 | 1 | 1 | 4.500 |
| 2013 | 5148 | 1.025 | 350 | 1 | 1 | 1.491 |
| Cálculo com variação dos valores dos comprimentos de obra | | | | | | |
| Ano | TMDA | Comprimento de obra (Km) | Duração da obra (Dias) | Fator urbano | Zona de obra | Número de acidentes |
| 2013 | 10297 | 1.025 | 350 | 1 | 1 | 2.99 |
| 2013 | 10297 | 0.133 | 350 | 1 | 1 | 0.900 |
| 2013 | 10297 | 3.225 | 350 | 1 | 1 | 5.875 |
| 2013 | 10297 | 1.537 | 350 | 1 | 1 | 3.800 |
| 2013 | 10297 | 0.512 | 350 | 1 | 1 | 1.991 |

| Vítimas mortais e c/feridos (Continuação) | | | | | | |
|---|-------|--------------------------|------------------------|--------------|--------------|---------------------|
| Cálculo com variação dos valores da duração de obra | | | | | | Número de acidentes |
| Ano | TMDA | Comprimento de obra (Km) | Duração da obra (Dias) | Fator urbano | Zona de obra | |
| 2013 | 10297 | 1.025 | 350 | 1 | 1 | 2.994 |
| 2013 | 10297 | 1.025 | 45 | 1 | 1 | 0.403 |
| 2013 | 10297 | 1.025 | 664 | 1 | 1 | 5.595 |
| 2013 | 10297 | 1.025 | 525 | 1 | 1 | 4.449 |
| 2013 | 10297 | 1.025 | 175 | 1 | 1 | 1.521 |

O resultado da aplicação do modelo utilizando o cenário base, revelou um número de acidentes com vítimas mortais e feridos de cerca de 3.

No cenário de variação do TMDA, quando é acrescido 50% ao valor médio do TMDA, o incremento do número de acidentes é de cerca de 50.31%, percentagem semelhante à diminuição verificada quando é feito o cálculo considerando metade do valor médio do TMDA. Isto significa que existe uma relação linear entre o aumento do tráfego e o aumento do número de acidentes em estradas em obras (Figura 68).

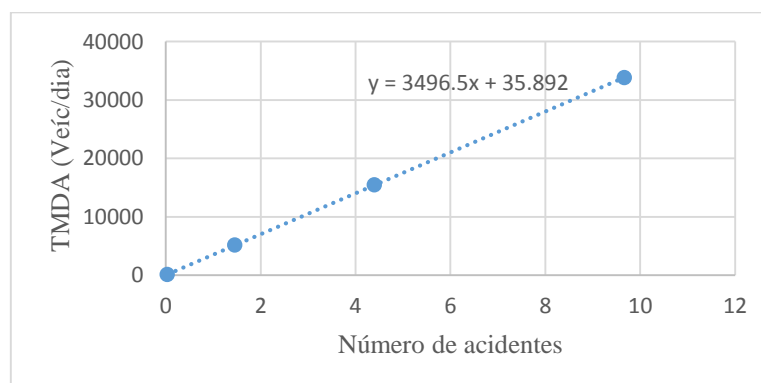


Figura 68 – Evolução do número de acidentes mortais/com feridos com a variação do TMDA

No segundo cenário, onde é feita a variação dos valores dos comprimentos de obra, um incremento de 50% ao valor médio do comprimento leva a um aumento do número de acidentes de cerca de 26.9%. Já uma redução em 50% do valor médio dos comprimentos leva a uma redução do número de acidentes em zonas de obras de cerca de 33.5% (Figura 69).

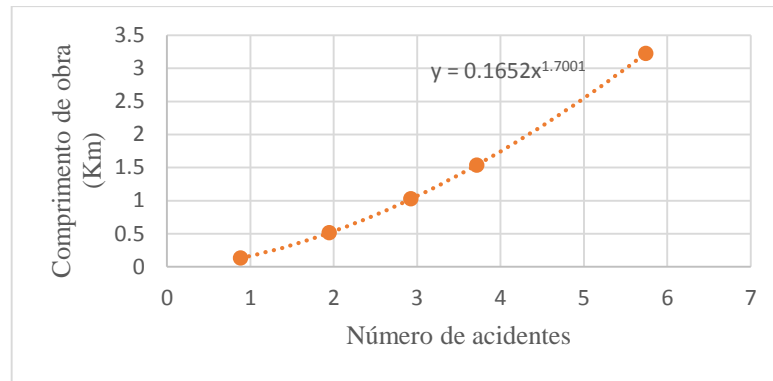


Figura 69 – Evolução do número de acidentes mortais/com feridos com a variação do comprimento de obra

Por fim, quando se variaram os valores da duração de obra, verificou-se que um aumento de 50% do valor médio leva a um aumento do número de acidentes de cerca de 48.6%, semelhante à diminuição dos acidentes, quando se reduz o valor médio em 50%, obtendo-se um decréscimo de 49.2%, podendo considerar-se que a variação da duração da obra tem uma relação linear com o número de acidentes em zonas de obras (Figura 70). No entanto, a variável referente à duração de obra foi referida no estudo de (Venugopal and Tarko 2000) como sendo uma questão um pouco mais complexa, devido ao facto de uma maior duração poder implicar uma habituação dos condutores às condições viárias, e por isso um crescimento mais moderado do número de acidentes.

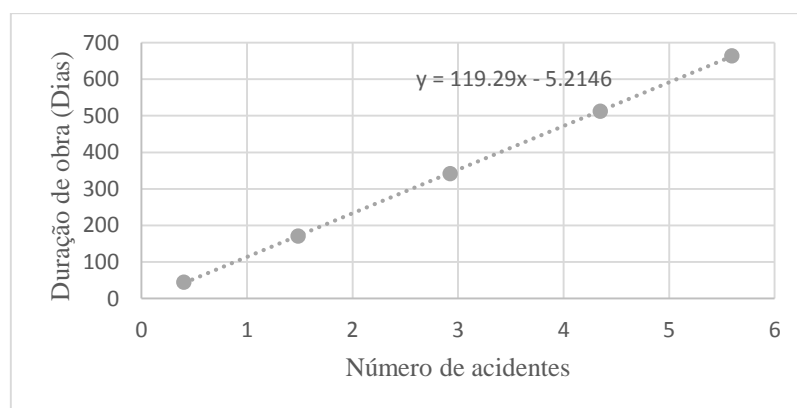


Figura 70 – Evolução do número de acidentes mortais/com feridos com a variação da duração da obra

A variável relativa ao comprimento de obra demonstrou ser a que suscita uma menor variação do número de acidentes, assumindo-se como a menos importante do conjunto das três variáveis.

4.5. Ajuste do modelo de Sun, Edara et al. (2014) ao conjunto de obras referenciado

Após a análise de sensibilidade, o modelo de previsão de acidentes mortais e com feridos de Sun, Edara et al. (2014) foi aplicado ao conjunto de obras disponíveis. Com os dados dos acidentes ocorridos nessas estradas, no período de obras, foi possível efetuar a comparação do número de acidentes observados com o número de acidentes obtidos através do modelo.

A Tabela 22 mostra o número de acidentes mortais e com feridos calculados através do modelo, para o conjunto de obras fornecido. Na mesma tabela estão presentes os acidentes observados nessas mesmas vias, durante o período em que decorreram as obras.

Tabela 22 – Aplicação do modelo de (Sun, Edara et al. 2014) para o cálculo do número de acidentes mortais/ com feridos

| Acidentes mortais e c/feridos | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------|-------|--------------------|----------------|--------------|--------------|----------------------------------|----------------------------|----------|
| Nº | Estrada | TMDA | Comp. da obra (Km) | Duração (dias) | Fator urbano | Zona de obra | Nº de acidentes segundo o modelo | Nº de acidentes observados | Resíduos |
| 1 | EN206 | 11564 | 0.712 | 45 | 1 | 1 | 0.366 | 2 | -1.633 |
| 2 | EN101 | 14740 | 3.225 | 62 | 1 | 1 | 1.553 | 1 | 0.553 |
| 3 | EN310 | 10140 | 1.545 | 168 | 1 | 1 | 1.831 | 0 | 1.831 |
| 4 | EN207-4 | 10660 | 0.565 | 173 | 1 | 1 | 1.097 | 0 | 1.097 |
| 5 | EN580 | 10297 | 2.796 | 123 | 1 | 1 | 1.944 | 0 | 1.944 |
| 6 | EN580 | 10297 | 1.099 | 123 | 1 | 1 | 1.123 | 0 | 1.123 |
| 7 | EN580 | 10297 | 0.963 | 123 | 1 | 1 | 1.038 | 0 | 1.038 |
| 8 | EN580 | 10297 | 0.994 | 123 | 1 | 1 | 1.058 | 0 | 1.058 |
| 9 | EN206 | 11564 | 0.283 | 199 | 1 | 1 | 0.908 | 0 | 0.908 |
| 10 | EN101 | 14740 | 0.133 | 501 | 1 | 1 | 1.833 | 2 | -0.166 |
| 11 | EN101 | 14740 | 0.547 | 252 | 1 | 1 | 2.152 | 0 | 2.152 |
| 12 | EN310 | 10140 | 3.169 | 207 | 1 | 1 | 3.427 | 2 | 1.427 |
| 13 | EN12 | 9339 | 0.522 | 276 | 1 | 1 | 1.446 | 0 | 1.446 |
| 14 | EN207 | 10660 | 0.640 | 636 | 1 | 1 | 4.210 | 2 | 2.210 |
| 15 | EN207 | 10660 | 1.025 | 517 | 1 | 1 | 4.537 | 2 | 2.537 |
| 16 | EN13 | 15317 | 1.025 | 609 | 1 | 1 | 7.665 | 6 | 1.665 |
| 17 | EN311 | 3474 | 1.741 | 567 | 1 | 1 | 2.196 | 0 | 2.196 |
| 18 | EN207 | 10660 | 0.808 | 423 | 1 | 1 | 3.241 | 0 | 3.241 |
| 19 | EN105 | 16814 | 0.419 | 529 | 1 | 1 | 4.333 | 3 | 1.333 |
| 20 | EN207 | 11564 | 0.342 | 664 | 1 | 1 | 3.295 | 1 | 2.295 |

Comparando os resultados, verifica-se uma grande discrepância entre o número de acidentes observados e o número de acidentes obtidos através do modelo. Segundo o modelo, durante a execução das obras, seria de prever a ocorrência de um total de 43 acidentes.

A Figura 71 mostra o gráfico de resíduos resultante da comparação efetuada.

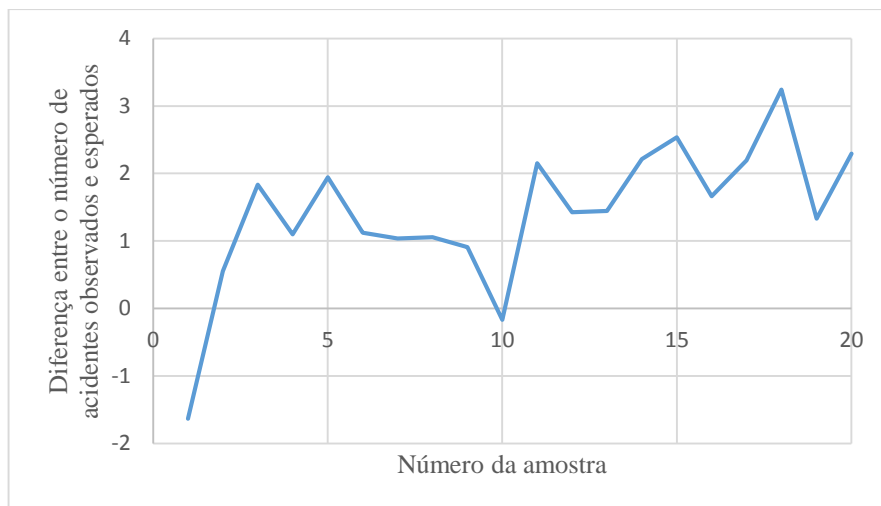


Figura 71 – Gráfico de resíduos da comparação dos acidentes estimados com os acidentes previstos

Efetuando o cálculo do desvio absoluto médio (MAD), onde é efetuada a divisão do somatório dos resíduos pelo número de amostras, vem que:

$$MAD = \frac{\sum |Resíduos|}{N^{\circ} \text{ de amostras}} = \frac{28.262}{20} = 1.413 \quad (20)$$

Pode concluir-se que o modelo de Sun, Edara et al. (2014) não se adapta à realidade Portuguesa, ou, pelo menos, ao conjunto de amostras utilizado, verificando-se um desvio considerável entre os valores previstos e observados no que diz respeito aos acidentes mortais e com feridos. Além disso comprova-se o mau ajuste do modelo, pelo valor dos resíduos, que embora se situem próximo do zero, são na sua maioria positivos.

4.6. Acidentes com danos materiais

Os dados obtidos para cada um dos cenários utilizados na análise de sensibilidade estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Análise de sensibilidade do modelo de acidentes com danos materiais

| Danos materiais | | | | | | |
|---|-------|--------------------------|------------------------|--------------|--------------|---------------------|
| Situação base (Cálculos com as médias) | | | | | | |
| Ano | TMDA | Comprimento de obra (Km) | Duração da obra (Dias) | Fator urbano | Zona de obra | Número de acidentes |
| 2013 | 10297 | 1.025 | 350 | 1 | 1 | 10.450 |
| Cálculo com variação dos valores de TMDA | | | | | | |
| Ano | TMDA | Comprimento de obra (Km) | Duração da obra (Dias) | Fator urbano | Zona de obra | Número de acidentes |
| 2013 | 128 | 1.025 | 350 | 1 | 1 | 0.157 |
| 2013 | 33812 | 1.025 | 350 | 1 | 1 | 32.587 |
| 2013 | 15446 | 1.025 | 350 | 1 | 1 | 15.401 |
| 2013 | 5148 | 1.025 | 350 | 1 | 1 | 5.384 |
| Cálculo com variação dos valores dos comprimentos de obra | | | | | | |
| Ano | TMDA | Comprimento de obra (Km) | Duração da obra (Dias) | Fator urbano | Zona de obra | Número de acidentes |
| 2013 | 10297 | 1.025 | 350 | 1 | 1 | 10.450 |
| 2013 | 10297 | 0.133 | 350 | 1 | 1 | 3.200 |
| 2013 | 10297 | 3.225 | 350 | 1 | 1 | 20.301 |
| 2013 | 10297 | 1.537 | 350 | 1 | 1 | 13.217 |
| 2013 | 10297 | 0.512 | 350 | 1 | 1 | 6.993 |
| Cálculo com variação dos valores da duração de obra | | | | | | |
| Ano | TMDA | Comprimento de obra (Km) | Duração da obra (Dias) | Fator urbano | Zona de obra | Número de acidentes |
| 2013 | 10297 | 1.025 | 350 | 1 | 1 | 10.450 |
| 2013 | 10297 | 1.025 | 45 | 1 | 1 | 1.303 |
| 2013 | 10297 | 1.025 | 664 | 1 | 1 | 20.010 |
| 2013 | 10297 | 1.025 | 525 | 1 | 1 | 15.769 |
| 2013 | 10297 | 1.025 | 175 | 1 | 1 | 5.171 |

No cenário base, em que foram considerados todos os valores médios, o resultado do número de acidentes sem feridos foi de cerca de 10 acidentes. Este valor é consideravelmente superior ao número de acidentes com vítimas mortais e com feridos, podendo no entanto não representar a totalidade dos acidentes com danos materiais, devido à eventual existência de um número considerável de acidentes não reportados.

No cenário de variação dos valores do TMDA, quando se considera um aumento de 50% do valor médio do tráfego, verifica-se um acréscimo do número de acidentes na ordem dos 47.4%, confirmando o comportamento linear já observado na análise feita aos acidentes com vítimas mortais e feridos (Figura 72).

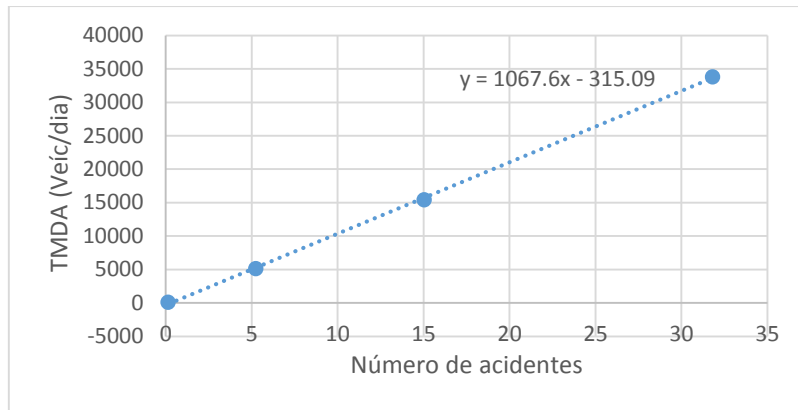


Figura 72 – Evolução do número de acidentes sem feridos com a variação do TMDA

Com a variação dos valores referentes ao comprimento de obra, o número de acidentes sofreu um aumento de 26.5% e uma redução de 33% com o aumento e diminuição de 50% ao valor médio do comprimento de obra, respetivamente (Figura 73). Mais uma vez esta apresenta-se como a variável do modelo menos sensível.

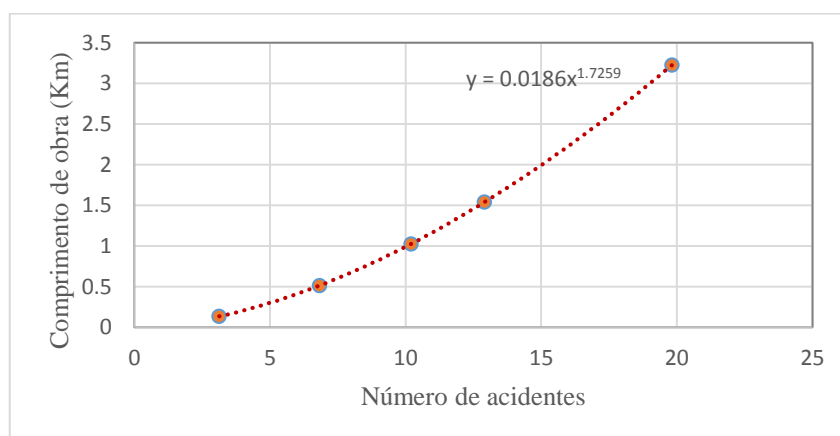


Figura 73 – Evolução do número de acidentes sem feridos com a variação do comprimento de obra

No último cenário, a diminuição ou aumento em 50% do valor médio da duração de obra levou a variações idênticas no número de acidentes, com incremento e diminuição de 50% em ambos os casos (Figura 74).

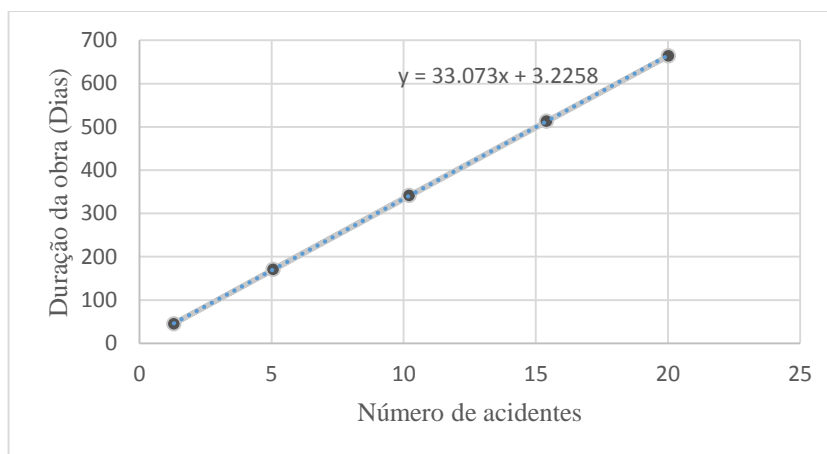


Figura 74 – Evolução do número de acidentes sem feridos com a variação da duração da obra

O número de acidentes sem feridos, calculado para o conjunto de obras através do modelo de Sun, Edara et al. (2014), encontra-se na Tabela 24. Não foi efetuada a comparação com dados observados pois a obtenção dos mesmos não foi possível, uma vez que este tipo de dados não está disponível em Portugal.

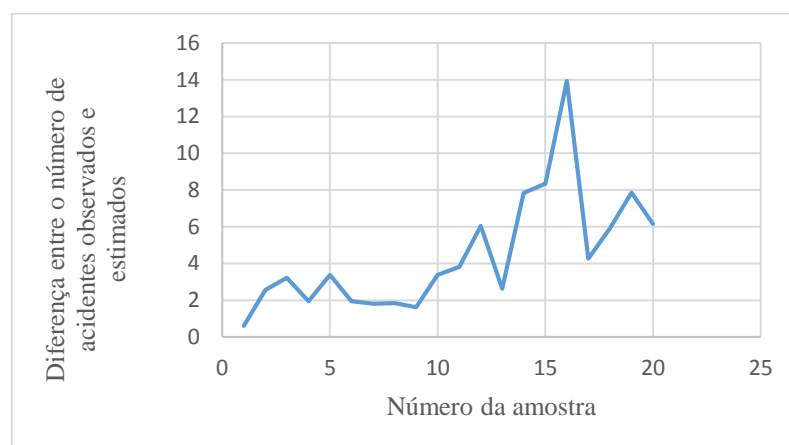
No entanto, foi feita uma estimativa do número de acidentes observados, estabelecendo uma relação semelhante à obtida na comparação do número de acidentes mortais e com feridos com os acidentes observados, do mesmo tipo.

Devido à falta de informação relativamente aos dados de acidentes com danos materiais em Portugal, não é possível concluir se o modelo de Sun, Edara et al. (2014) se adapta às condições viárias portuguesas. No entanto, se os acidentes com danos materiais seguirem a mesma tendência dos acidentes com vítimas mortais e com feridos, verifica-se uma discrepância significativa entre os resultados dos modelos e os números verificados em Portugal, como pode ser observado no gráfico de resíduos ou no valor do desvio absoluto médio.

Tabela 24 – Aplicação do modelo de (Sun, Edara et al. 2014) para o cálculo do número de acidentes sem feridos

| Acidentes com danos materiais | | | | | | | | | Resíduos |
|-------------------------------|---------|-------|------------|----------------|--------------|--------------|--|---|----------|
| Nº | Estrada | TMDA | Comp. (Km) | Duração (dias) | Fator urbano | Zona de obra | Número de acidentes (Segundo o modelo) | Estimação do número de acidentes observados | |
| 1 | EN206 | 11564 | 0.712 | 45 | 1 | 1 | 1.179 | 0.565 | 0.614 |
| 2 | EN101 | 14740 | 3.225 | 62 | 1 | 1 | 4.939 | 2.370 | 2.569 |
| 3 | EN310 | 10140 | 1.545 | 168 | 1 | 1 | 6.199 | 2.975 | 3.224 |
| 4 | EN207-4 | 10660 | 0.565 | 173 | 1 | 1 | 3.742 | 1.796 | 1.946 |
| 5 | EN580 | 10297 | 2.796 | 123 | 1 | 1 | 6.466 | 3.094 | 3.372 |
| 6 | EN580 | 10297 | 1.099 | 123 | 1 | 1 | 3.765 | 1.807 | 1.958 |
| 7 | EN580 | 10297 | 0.963 | 123 | 1 | 1 | 3.487 | 1.673 | 1.814 |
| 8 | EN580 | 10297 | 0.994 | 123 | 1 | 1 | 3.551 | 1.704 | 1.847 |
| 9 | EN206 | 11564 | 0.283 | 199 | 1 | 1 | 3.121 | 1.498 | 1.623 |
| 10 | EN101 | 14740 | 0.133 | 501 | 1 | 1 | 6.489 | 3.114 | 3.375 |
| 11 | EN101 | 14740 | 0.547 | 252 | 1 | 1 | 7.330 | 3.518 | 3.812 |
| 12 | EN310 | 10140 | 3.169 | 207 | 1 | 1 | 11.619 | 5.577 | 6.042 |
| 13 | EN12 | 9339 | 0.522 | 276 | 1 | 1 | 5.057 | 2.427 | 2.63 |
| 14 | EN207 | 10660 | 0.640 | 636 | 1 | 1 | 15.070 | 7.233 | 7.837 |
| 15 | EN207 | 10660 | 1.025 | 517 | 1 | 1 | 16.045 | 7.701 | 8.344 |
| 16 | EN13 | 15317 | 1.025 | 609 | 1 | 1 | 26.800 | 12.864 | 13.936 |
| 17 | EN311 | 3474 | 1.741 | 567 | 1 | 1 | 8.191 | 3.931 | 4.26 |
| 18 | EN207 | 10660 | 0.808 | 423 | 1 | 1 | 11.401 | 5.472 | 5.929 |
| 19 | EN105 | 16814 | 0.419 | 529 | 1 | 1 | 15.120 | 7.257 | 7.863 |
| 20 | EN206 | 11564 | 0.342 | 664 | 1 | 1 | 11.832 | 5.679 | 6.153 |

A comparação dos valores obtidos segundo o modelo com a estimativa dos acidentes com danos materiais encontra-se representada no gráfico de resíduos seguinte (Figura 75).

**Figura 75** – Gráfico de resíduos da comparação dos acidentes previstos pelo modelo e os acidentes estimados

Efetuada o cálculo do desvio absoluto médio (MAD), onde é efetuada a divisão do somatório dos resíduos pelo número de amostras, temos:

$$MAD = \frac{\sum |Resíduos|}{N^{\circ} \text{ de amostras}} = \frac{89.148}{20} = 4.457 \quad (21)$$

À semelhança do que aconteceu para a previsão de acidentes com mortos e feridos, os resíduos são positivos, apresentando valores muito elevados, o que se reflete num valor de MAD também muito elevado.

4.7. Taxa de acidentes em zonas de obra

O conceito de taxa de acidente em zonas de obra foi abordado em alguns estudos referidos anteriormente ((Khattak, Khattak et al. 2002), (See 2008), (Rouphail, Yang et al. 1988)).

Na análise de sensibilidade da expressão do cálculo da taxa de acidentes foram considerados os mesmos quatro cenários já utilizados na análise de sensibilidade do modelo de previsão do número de acidentes.

O número de acidentes utilizado na análise de sensibilidade da taxa de acidentes foi retirado da análise de sensibilidade do modelo de Sun, Edara et al. (2014), referente aos acidentes com vítimas mortais e feridos.

A Tabela 25 mostra os resultados da análise de sensibilidade efetuada ao modelo elaborado por Khattak, Khattak et al. (2002) para o cálculo da taxa de acidentes.

Tabela 25 – Análise de sensibilidade do Modelo de Taxa de Acidentes elaborado por (Khattak, Khattak et al. 2002)

| Acidentes com vítimas mortais e feridos (Continua) | | | | | |
|--|---------|------------------------|--------------------------|---------------------|--|
| Situação | Tráfego | Duração da obra (Dias) | Comprimento da obra (Km) | Número de acidentes | Taxa de acidentes (P/ milhão de veículos p/Km) |
| Base | 10297 | 350 | 1.649 | 2.994 | 0.503 |
| Variação TMDA | 128 | 350 | 1.649 | 0.036 | 0.492 |
| | 33812 | 350 | 1.649 | 9.890 | 0.506 |
| | 15446 | 350 | 1.649 | 4.500 | 0.504 |
| | 5148 | 350 | 1.649 | 1.491 | 0.501 |

| Acidentes com vítimas mortais e feridos (Continuação) | | | | | |
|---|-------|-----|-------|-------|-------|
| Variação comprimento | 10297 | 350 | 1.649 | 2.994 | 0.503 |
| | 10297 | 350 | 0.214 | 0.900 | 1.167 |
| | 10297 | 350 | 5.19 | 5.875 | 0.314 |
| | 10297 | 350 | 2.474 | 3.800 | 0.426 |
| | 10297 | 350 | 0.824 | 1.991 | 0.669 |
| Variação duração | 10297 | 350 | 1.649 | 2.994 | 0.503 |
| | 10297 | 45 | 1.649 | 0.403 | 0.527 |
| | 10297 | 664 | 1.649 | 5.595 | 0.496 |
| | 10297 | 525 | 1.649 | 4.449 | 0.498 |
| | 10297 | 175 | 1.649 | 1.521 | 0.511 |

Nesta análise, a variável referente ao comprimento de obra é aquela que mais influencia o valor da taxa de acidentes. Um aumento de 50% do valor médio do comprimento de obra leva a uma diminuição da taxa de acidentes de cerca de 15%, ou seja, a maiores comprimentos de obra estão associados menores taxas de acidentes. Quando o cálculo é efetuado tendo em conta metade do valor médio do comprimento de obra, verifica-se um aumento de 33% na taxa de acidentes.

Nos gráficos seguintes (Figuras 76 a 78) pode observar-se a evolução do valor da taxa de acidente nos diferentes cenários considerados. O aumento do Tráfego Médio Diário Anual leva a um aumento da taxa de acidentes, devido ao aumento das interações entre veículos. Quanto à duração de obra, pode verificar-se através do gráfico que existe uma diminuição da taxa de acidentes com o aumento do valor da duração. Isto poderá estar relacionado com a habituação dos condutores às condições viárias, o que os levará à adoção de comportamentos mais seguros.

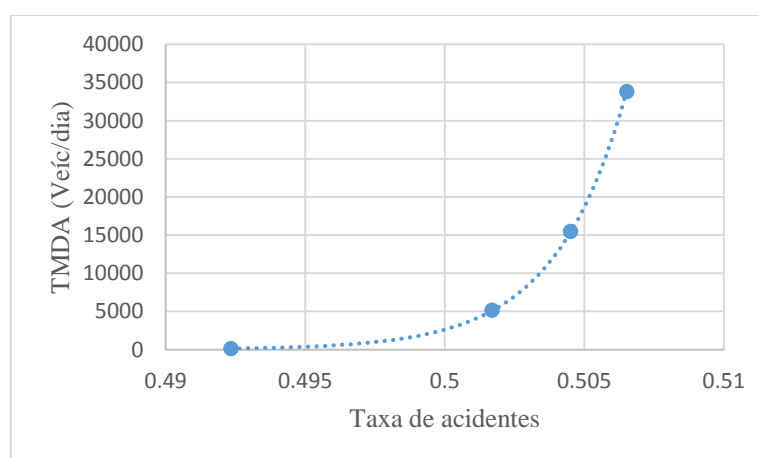


Figura 76 – Evolução da taxa de acidente com a variação do TMDA

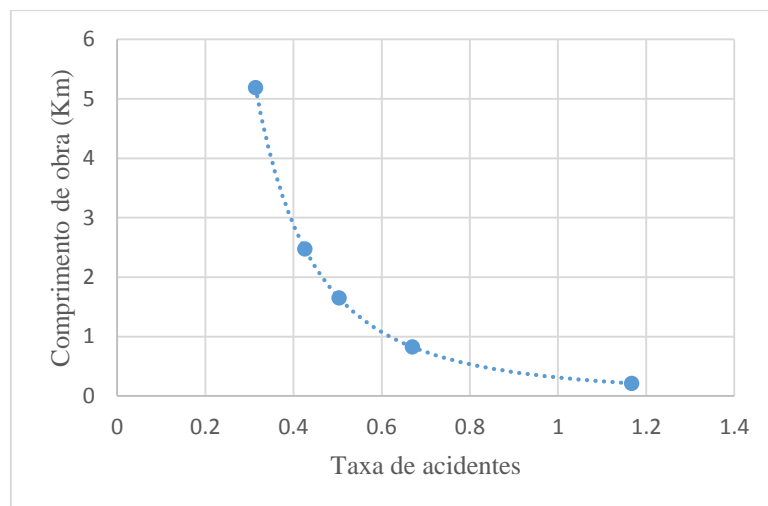


Figura 77 – Evolução da taxa de acidentes com a variação do comprimento de obra

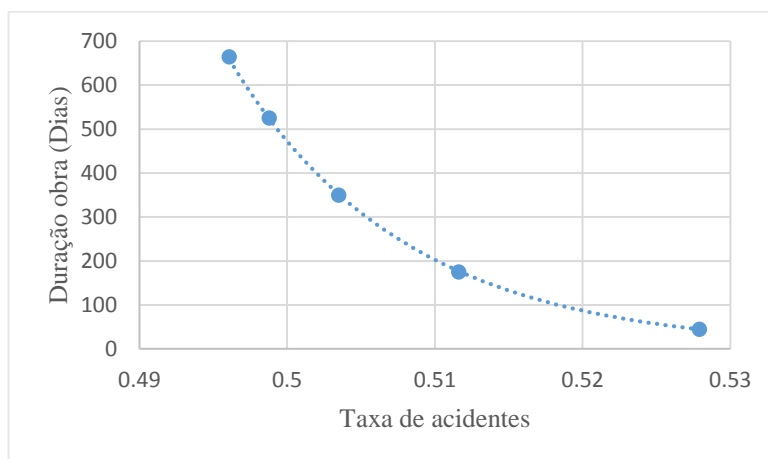


Figura 78 – Evolução da taxa de acidentes com a variação da duração da obra

4.8. Elaboração de modelo de previsão de acidentes mortais e com feridos em zonas de obra

O modelo desenvolvido foi um modelo linear generalizado binomial negativo, por ser o mais utilizado para as condições do estudo.

Os detalhes da técnica encontram-se descritos em várias publicações, nomeadamente sobre estudos efetuados em Portugal como é o caso dos efetuados por Costa (2013) e Silva (2015).

O software utilizado foi o SAS ®.

Os dados de entrada para cálculo do modelo encontram-se na Tabela 26.

Tabela 26 – Dados de entrada para elaboração do modelo de previsão de acidentes

| ID | AO (Acidentes observados) | TMDA (Veíc/dia) | T (dias) | C (m) |
|----|------------------------------|--------------------|-------------|----------|
| 1 | 2 | 7690 | 45 | 1146 |
| 2 | 1 | 14257 | 62 | 5190 |
| 3 | 0 | 10370 | 168 | 2486 |
| 4 | 0 | 12502 | 173 | 910 |
| 5 | 0 | 19135 | 123 | 4500 |
| 6 | 0 | 19135 | 123 | 1550 |
| 7 | 0 | 19135 | 123 | 1770 |
| 8 | 0 | 19135 | 123 | 1600 |
| 9 | 0 | 14358 | 199 | 455 |
| 10 | 2 | 20490 | 501 | 214 |
| 11 | 0 | 19577 | 252 | 880 |
| 12 | 2 | 22790 | 207 | 5100 |
| 13 | 0 | 11455 | 276 | 840 |
| 14 | 2 | 12502 | 636 | 1030 |
| 15 | 2 | 12077 | 517 | 1649.75 |
| 16 | 6 | 19868 | 609 | 1649.75 |
| 17 | 0 | 1705 | 567 | 2800 |
| 18 | 0 | 10785 | 423 | 1300 |
| 19 | 3 | 19571 | 529 | 674 |
| 20 | 1 | 12077 | 664 | 550 |

O modelo de cálculo do número de acidentes com mortos e feridos em zonas de obra é o seguinte:

$$y = e^{(\beta_0 + (TMDA/1000) * \beta_1 + (t/1000) * \beta_2)} \quad (22)$$

Onde,

y - Número de acidentes com mortos e com feridos;

TMDA - Tráfego Médio Diário Anual da estrada em obra (Veíc/dia);

t - Duração da obra (dias).

Na Tabela 27 apresenta-se os parâmetros estimados do modelo, assim como as estatísticas relativas à qualidade do ajuste. O coeficiente de determinação R^2 tem o valor de 0.67, o que revela um ajustamento satisfatório, tendo em conta a dimensão da amostra.

Tabela 27 – Modelo de previsão do número de acidentes com mortos/feridos

| Parâmetro | DF | Estimado | Standard Error | p |
|--------------------------|-----------|-----------------|-----------------------|----------|
| Intercept | 1 | -3.3499 | 1.1179 | 0.0027 |
| TMDA | 1 | 0.1130 | 0.0501 | 0.0241 |
| t | 1 | 4.0442 | 1.1941 | 0.0007 |
| AIC^(a) | 54.9287 | | | |
| Deviance | 23.2109 | | | |
| R² | 0.67138 | | | |

(a) AIC- Critério de informação Akaike.

Neste modelo, a variável referente ao comprimento de obra não é significativa, não tendo sido por isso incluída no modelo. Isto pode dever-se ao fato da variabilidade do comprimento de obra ser reduzida, como consequência de uma amostra também de tamanho reduzido.

Salienta-se que este modelo difere do apresentado por Sun, Edara et al. (2014) devido ao facto de não ter sido considerado aceitável um modelo com a linearização das variáveis.

Para complementar a análise da qualidade do modelo apresenta-se na Figura 79 o gráfico dos resíduos.

Observa-se que os resíduos se desenvolvem aleatoriamente em torno do eixo, o que confirma que o modelo é válido.

Quanto à sua capacidade global de previsão verifica-se que esta é boa, dado que o valor total dos acidentes com mortos e feridos observados é de 21 ocorrências, sendo que, através da aplicação do modelo criado, se chegou a um número total de 20.98 acidentes.

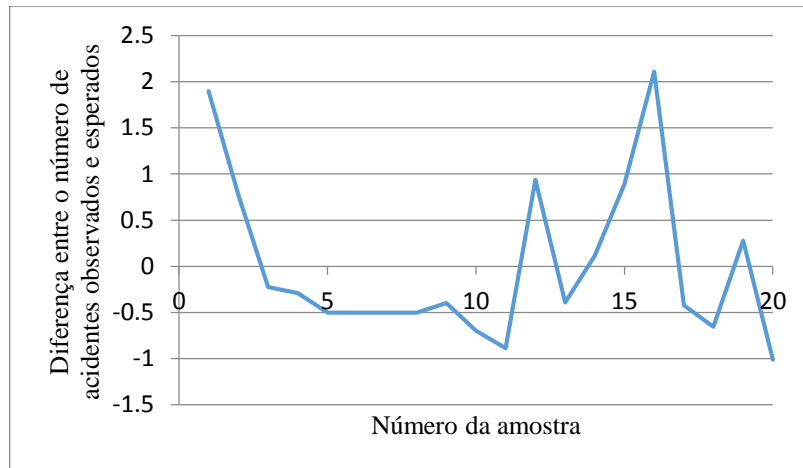


Figura 79 – Gráfico de Resíduos do modelo

Efetuada o cálculo do desvio absoluto médio (MAD), onde é efetuada a divisão do somatório dos resíduos pelo número de amostras, temos:

$$MAD = \frac{\sum |Resíduos|}{N^{\circ} de amostras} = \frac{20,98}{20} = 1.05 \quad (23)$$

Comparando o modelo de Sun, Edara et al. (2014) com o modelo criado, conclui-se que este último se ajusta muito melhor às condições viárias em Portugal, nomeadamente nas estradas da tipologia das utilizadas na amostra.

Este bom ajuste confirma-se, através da comparação do valor do desvio absoluto médio (MAD). No modelo de Sun, Edara et al (2014) o valor do desvio é de 1.413, enquanto que no modelo criado este valor é de 1.05.

No entanto, como foi anteriormente referido, é necessário ter em conta a dimensão da amostra, que era bastante maior no modelo analisado, em comparação com amostra utilizada para a criação do modelo deste estudo.

5. PREVISÃO DO IMPACTO NA CIRCULAÇÃO DE UMA OBRA NA AUTOESTRADA A28

5.1. Enquadramento e metodologia

Estudos anteriores ((Dixon, Hummer et al. (1996)), (Kim, Lovell et al. 2001), (Heaslip, Kondyli et al. 2009), (Ullman, Lomax et al. 2011)) revelaram que a existência de obras tem influência na capacidade da estrada. Quando esta capacidade é afetada, devido a constrangimentos e maiores interações entre veículos, existe a possibilidade de ocorrência de formações de filas e atrasos.

A análise do impacto de uma obra na capacidade de uma estrada pode ser efetuada através da comparação da capacidade no período pré-obra com a capacidade em situação de obra. Sendo assim, numa primeira fase será feito o cálculo da capacidade na autoestrada A28 em condições normais e durante a realização de obras, por forma a demonstrar a influência das obras na capacidade das vias da autoestrada.

A capacidade em condições normais será calculada através do conceito de velocidade em regime livre – *Free Flow Speed* (FFS) definida pela metodologia HCM 2000, que é apresentada no Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes (Seco, Macedo et al. (2008). Importa realçar que Plano Rodoviário Nacional – PRN 2000 preconiza a utilização das metodologias do HCM para a realização de estudos de tráfego no nosso país.

No que diz respeito à capacidade da autoestrada em obras, será efetuada com recurso à expressão fornecida pelo documento HCM2000 (National Research and Transportation Research 2010), uma vez que, também neste caso, se dispõe da informação necessária para o cálculo, tratando-se de uma metodologia recomendada para avaliar a capacidade neste tipo de infraestruturas rodoviárias.

Para o cálculo da capacidade das vias de uma autoestrada em período de obra são necessários dados relativos à intensidade dos trabalhos, número de interseções, percentagem de veículos pesados e número de vias disponíveis para circulação.

No que se refere aos dados de tráfego, incluindo a percentagem de veículos pesados, estes foram retirados do relatório de tráfego da rede nacional de autoestradas (2014) e do relatório e contas consolidado da Brisa (2012), respetivamente.

Os restantes dados necessários foram cedidos pela empresa Cândido José Rodrigues (CJR), referentes à obra realizada na autoestrada em análise.

Posteriormente, ao cálculo das capacidades, será calculado o atraso para os veículos que circulem na autoestrada durante o período de obra. O objetivo do cálculo passa por mostrar e quantificar a influência na circulação que a realização de uma obra pode ter na circulação, demonstrando que existe formação de fila de espera e consequentemente, atrasos.

O cálculo do atraso será efetuado com recurso à metodologia apresentada por Ullman, Lomax et al. (2011). O valor do atraso calculado através deste método resulta da soma dos atrasos durante a circulação na zona de obra e dos atrasos existentes na aproximação à mesma, onde se formem filas de espera.

Assim, numa primeira fase será apresentado o gráfico do volume de tráfego horário da autoestrada (i.e. a procura), por forma a encontrar em que períodos os débitos de chegada são superiores à capacidade da A28 em período de obra.

Obtidos os períodos em que a procura é maior que a oferta, considerando os débitos de chegada e a capacidade das vias em obra, serão calculados os comprimentos máximos das filas de espera. Com os comprimentos das filas de espera será estimado o atraso médio por veículo.

5.2. Cálculo da capacidade da autoestrada A28

5.2.1. Cálculo da capacidade nas condições normais de circulação

Para o cálculo da capacidade das vias da autoestrada, para condições normais de circulação, foi utilizada a metodologia preconizada no HCM2000 para avaliar o Nível de Serviço das vias de uma autoestrada. Deste modo, a capacidade será determinada considerando o volume de tráfego referente ao Nível de Serviço E, para a velocidade em regime livre (FFS) estimada para o troço de autoestrada em análise.

Deste modo, o valor de FFS é estimado segundo a seguinte expressão:

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_N - f_{ID} \quad (24)$$

Onde,

FFS – Velocidade em regime livre estimada (Km/h);

BFFS – Velocidade em regime livre base (Km/h);

f_{LW} – Ajustamento devido à largura das vias;

f_{LC} – Ajustamento devido à desobstrução lateral do lado da berma direita;

f_N – Ajustamento devido ao número de vias;

f_{ID} – Ajustamento devido à densidade de nós de ligação.

Os dados relativos à largura de via, desobstrução lateral da berma, número de vias e densidade de nós de ligação, necessários para o cálculo, foram retirados do documento elaborado por Begonha (2008) relativo a autoestradas interurbanas.

Na Tabela 28 apresentam-se os valores utilizados para o cálculo da FFS, bem como o valor da capacidade para o nível de serviço E.

Tabela 28 – Cálculo da capacidade (Velocidade em regime livre - FFS)

| Cálculo Capacidade (FFS) | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------|------------|----------------------|----------|-------|----------|----------|------|-------|--|
| Obra | Estrada | Km da obra | Tipo de obra | f_{ID} | f_N | f_{LC} | f_{LW} | BFFS | FFS | Capacidade (Volume do NS E) (Veíc/h/via) |
| 1 | A28 | 10,600 | Remoção do pavimento | 2,1 | 0 | 0 | 1 | 120 | 116,9 | 2384,5 |

O débito de serviço máximo foi obtido através de interpolação, encontrando-se a mesma na Tabela 29.

Tabela 29 – Interpolação para obtenção do débito associado ao Nível de Serviço: E

| FFS | Débito de serviço máximo (Nível de serviço E) (uvl/h/via) |
|-------|---|
| 120 | 2400 |
| 116.9 | 2384.5 |
| 110 | 2350 |

5.2.2. Cálculo da capacidade em período de obra

Segundo o HCM 2000, para avaliar a capacidade de uma via de uma autoestrada em obras, a intensidade utilizada foi o nível 4, logo I assume o valor de -40, uma vez que se trata de uma remoção do pavimento. Por outro lado, R assume o valor de 160, devido à presença de interseções na autoestrada. O número de vias disponíveis (N) é de uma via, pois assume-se o corte de uma das vias de circulação. Quanto ao fator de equivalência de pesados em veículos ligeiros, foi considerado o valor de 2, valor base sugerido no documento de Batson, Turner et al. (2009) para um terreno plano.

A Tabela 30 mostra os valores utilizados no cálculo da capacidade em zona de obra através da expressão dada pelo National Research and Transportation Research (2010) assim como o resultado da estimação da capacidade da A28 em cenário de obra.

Tabela 30 – Cálculo da capacidade em obra segundo o HCM2000 (National Research and Transportation Research 2010)

| Cálculo Cw (HCM 2000) | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---------|------------|-------------------|-----|-------|----|-----|-----------------|---|---------------------------|
| Obra | Estrada | Km da obra | Tipo de obra | I | Pt | Et | R | f _{hv} | N | Capacidade c (Veíc/h/via) |
| 1 | A28 | 10600 | Remoção pavimento | -40 | 0.055 | 2 | 160 | 0.947 | 1 | 1460.853 |

Através da análise dos valores, pode observar-se uma redução significativa da capacidade da via durante o período de obra, confirmando o que foi referenciado em estudos anteriores. Contudo, devido à dimensão da amostra, não é possível aferir se a interferência das obras na estrada na capacidade assume sempre valores desta ordem, pelo que seria necessário efetuar o estudo em diferentes estradas com vista à obtenção de conclusões mais sustentadas. Para além disso, seria necessário acompanhar um conjunto de obras e avaliar se os volumes da capacidade assumem de facto os valores que resultam da aplicação da metodologia do HCM.

5.3. Cálculo do atraso dos veículos devido à obra

Na Figura 80 apresenta-se o gráfico da variação do volume horário de tráfego durante 24 horas, e a respetiva capacidade em período de obra (1460 veíc/h/via) calculada anteriormente.

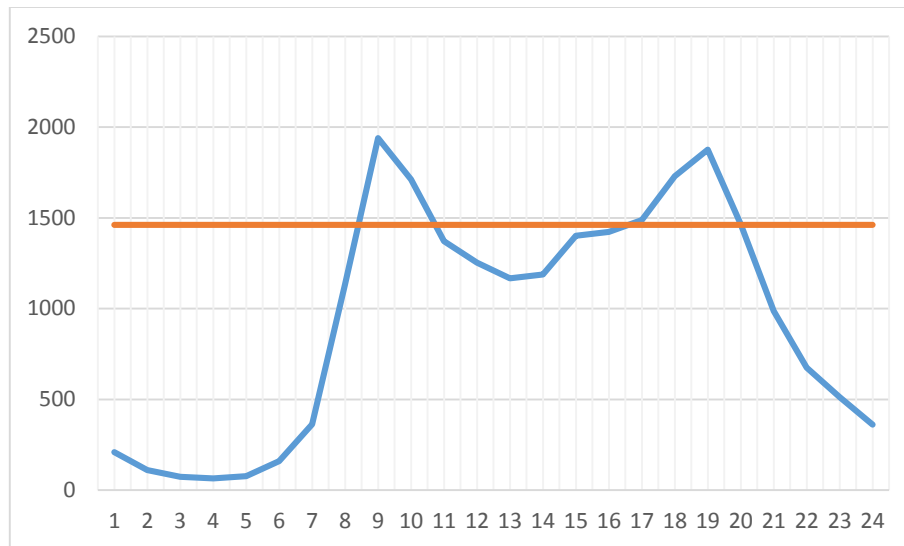


Figura 80 – Tráfego/hora na autoestrada A28

Deste modo, foi possível constatar que a capacidade da autoestrada, em cenário de obra, é ultrapassada nos períodos das 8:30h até às 10:45h (2:15h), onde o débito é de cerca de 1938 veíc/h/via e das 16:30h até 20h (3:30h), onde o tráfego que chega à zona de obra ronda o valor de 1876 veíc/h/via.

Considerando os valores apresentados, o cálculo dos comprimentos máximos de fila de espera (número de veículos) é efetuado com recurso à expressão seguinte (Seco, Macedo et al. 2008):

$$nm = \delta * (\lambda - \pi) \quad (25)$$

Onde,

n_m - comprimento máximo da fila de espera;

δ - Tempo de ocorrência da obra;

λ - Débito de chegadas (considerando ritmo de chegadas constante);

π - Capacidade em período de obra.

No período das **8:30h** às **10:45h**, o comprimento máximo da fila de espera foi:

$$nm = 2.25 * (1938.938 - 1460.85) = 1075.689 \text{ veículos} \quad (26)$$

No período das **16:30h** às **20h**, o comprimento máximo da fila de espera foi:

$$nm = 3.5 * (1876.161 - 1460.85) = 1453.588 \text{ veículos} \quad (27)$$

A extensão máxima da fila de espera é calculada com base na concentração. Sendo assim, esta pode ser obtida com o recurso à seguinte expressão:

$$k = \frac{q}{u} \quad (28)$$

Onde k representa a concentração, em veículos/km, q diz respeito ao débito (Veíc/h) e u representa a velocidade dos veículos na fila de espera (km/h).

Foram admitidas duas velocidades para o cálculo da concentração: 30 km/h e 10 km/h, pois tratam-se de velocidades frequentemente associadas às condições de circulação neste tipo de casos.

Os valores da concentração calculados para as duas velocidades consideradas são:

$$k = \frac{947.525 \text{ veíc/h}}{30 \text{ km/h}} = 31.58 \text{ veíc/km} \quad (29)$$

$$k = \frac{947.525 \text{ veíc/h}}{10 \text{ km/h}} = 94.75 \text{ veíc/km} \quad (30)$$

Sendo assim, para o período das **8:30h** às **10:45h**, verificam-se as seguintes extensões de fila de espera em cada via de circulação:

- Admitindo uma velocidade de 30 Km/h a fila de espera é de 17.03 Km;
- Admitindo uma velocidade de 10 Km/h a fila de espera é de 5.67 Km.

No que diz respeito ao período das **16:30h** às **20h**, as extensões da fila de espera em cada via são:

- 23 Km, admitindo uma velocidade de 30 Km/h;
- 7.67 Km, admitindo uma velocidade de 10 Km/h.

Obtidas as extensões, e com os valores das capacidades calculados anteriormente, o atraso por veículo pode ser calculado pela seguinte expressão (Ullman, Lomax et al. 2011):

$$\frac{\text{Atraso}}{\text{Veículo}} = Lq * \left(\frac{1}{uq} - \frac{1}{Uwzsl} \right) + Lwz * \left(\frac{1}{\frac{uf}{2}} - \frac{1}{Uwzsl} \right) \quad (31)$$

Onde L_q representa a extensão da fila na aproximação à obra, L_{wz} o comprimento da zona de obra (comprimento considerado de 200m), U_{wzsl} o limite de velocidade na zona de obra e u_f é metade da velocidade em regime livre.

Os atrasos máximos sofridos em ambos os períodos encontram-se na Tabela 31.

Tabela 31 – Atrasos dos veículos

| Período | Comprimento fila (Milhas) | Comprimento da obra (Milhas) | Atraso/Veículo | Segundos de atraso p/veículo |
|----------------------------|---------------------------|------------------------------|----------------|------------------------------|
| Fila de 1075 Veíc a 30Km/h | 10.581 | 0.124 | 0.1295 | 466.29 |
| Fila de 1075 Veíc a 10Km/h | 3.527 | 0.124 | 0.0435 | 156.78 |
| Fila de 1453 Veíc a 30Km/h | 14.298 | 0.124 | 0.1748 | 629.39 |
| Fila de 1453 Veíc a 10Km/h | 4.766 | 0.124 | 0.0586 | 211.15 |

Tal como se esperava, a implementação da obra provocou atrasos nos veículos, podendo chegar a cerca de 7 minutos, num dos períodos estimados. Os atrasos são um problema não só de carácter social mas também económico. O custo de todos os atrasos dos veículos pode chegar a cerca de 800€ por dia, considerando um custo de 10€/h de atraso, apresentado por (Batson, Turner et al. (2009)).

6. Conclusões e desenvolvimentos futuros

A sinistralidade continua a ser um problema de segurança pública, sendo que em Portugal, apesar de se assistir a uma diminuição dos acidentes, os valores ainda se encontram acima da média europeia, havendo portanto um longo caminho a percorrer.

Dentro da sinistralidade geral, pode identificar-se a sinistralidade em zonas de obra. O impacto das obras na circulação foi confirmado por vários estudos, verificando-se um aumento dos valores dos acidentes em relação ao período pré-obra, o que pode ser explicado em parte pela alteração das condições viárias normais.

A adaptação dos condutores a estas condições depende, por exemplo, do tipo de utilizador da estrada, quer se tratem de condutores ocasionais ou condutores que utilizam frequentemente a via intervencionada, estando os primeiros associados a um maior risco de acidente.

O caminho passa, não por não efetuar obras na estrada, mas por perceber quais os fatores que potenciam a ocorrência de acidentes, analisando-os e elaborando modelos de previsão de risco de acidente e impacto na circulação, no sentido de minimizar a influência das obras na comodidade e segurança dos condutores.

No que diz respeito aos modelos de risco de acidente em zonas de obra, foram abordados os modelos de previsão da frequência e da gravidade dos acidentes.

As variáveis referentes ao tráfego médio diário anual, comprimento da obra e duração da mesma revelaram ser as mais influentes no cálculo da frequência de acidentes. Além disso, o tipo de obra ou o custo da mesma são fatores que podem influenciar a sinistralidade, sendo que o custo da obra é utilizado para calcular a intensidade do trabalho que por sua vez reflete as interações entre a obra e os condutores, e consequentemente no número de acidentes.

O tipo de acidente mais frequente é o frente-traseira, sendo o TMDA o principal fator potenciador deste tipo de acidente, sendo que estes ocorrem principalmente em obras em contexto urbano e quando se observam cortes de via.

Relativamente ao conceito de taxa de acidente, 85.7% dos estudos revelaram que as obras na estrada aumentam o seu valor. À semelhança do que se verifica com a frequência de acidentes, e tendo em conta as variáveis utilizadas nos cálculos da taxa de acidente, o TMDA, a duração e comprimento de obra são as variáveis com maior importância.

Na previsão da gravidade dos acidentes, o número de variáveis envolvido no desenvolvimento de modelos é muito superior ao utilizado nos modelos de previsão da frequência de acidentes.

Neste caso, constata-se que as variáveis referentes às condições de luminosidade, presença de veículos pesados, excesso de velocidade, desrespeito pela sinalização ou erros dos condutores, como o não uso de cinto, contribuem para um aumento significativo da gravidade das vítimas dos acidentes em zona de obra.

Relativamente à gravidade dos acidentes frente-traseira, as variáveis relacionadas com o aumento da sua gravidade são o consumo de álcool por parte do condutor, condução noturna, existência de peões e defeitos na via.

No que se refere ao impacto na circulação, foi possível concluir que a existência de uma obra numa estrada leva a um aumento dos constrangimentos, reduções de capacidade da estrada e formações de filas. A capacidade pode ser afetada pela presença de veículos pesados, condições da estrada, como presença de interseções ou intensidade dos trabalhos.

As variáveis relacionadas com a largura da via, o comprimento desta e a velocidade praticada na obra aumentam a capacidade da zona em obra, ou seja, vias de circulação mais largas permitem a adoção de velocidades ligeiramente superiores, levando a uma maior fluidez do tráfego.

Como foi referido, o desrespeito pela sinalização imposta na zona de obra assume-se como um fator importante no aumento da gravidade dos acidentes, podendo levar a uma gravidade três vezes superior quando comparado com uma situação em que a sinalização é respeitada.

O correto planeamento da sinalização temporária contribui para o aumento da segurança em zona de obra. Foram analisados diferentes tipos de sinalização, esquemas de colocação e sistemas de controlo de tráfego. As diferenças entre as sinalizações analisadas, nomeadamente as de Portugal, Reino Unido e EUA, são notórias, tanto no que diz respeito às formas, como cores e simbologia utilizadas.

Tendo em conta a ausência de informação acerca da sinistralidade em zona de obra não foi possível verificar a influência da sinalização na ocorrência de acidentes. Contudo, foi efetuada a análise da sinistralidade geral nos três países, concluindo-se que o Reino Unido possui menores números de sinistralidade, seguido de Portugal, ainda a alguma distância. A sinalização destes países é semelhante, diferindo bastante da utilizada nos EUA, que regista os piores dados de sinistralidade.

Quanto aos sistemas de controlo de tráfego, estes devem ser escolhidos consoante o tipo de obra, optando-se pelo que melhor se adaptar à duração e comprimento da obra. O sistema semafórico assume-se como o mais eficaz na maioria das situações, podendo ser substituído pelo sistema stop/go quando se trate de trabalhos móveis.

O sistema de bandeiras deverá ser utilizado apenas quando o comprimento de obra permita que o condutor visualize toda a extensão da obra.

O acompanhamento de uma obra no conselho de Fafe, elaborada pela empresa Cândido José Rodrigues (CJR) possibilitou a observação da implementação da sinalização, bem como do sistema semafórico. O desenvolvimento em curva, perto da zona de trabalhos, obrigou a uma revisão das distâncias entre sinais, alteradas no sentido de permitir um aviso mais eficaz da presença da obra.

Conclui-se, portanto, que apesar de estipulados, os esquemas de sinalização podem sofrer pequenas alterações, com o intuito de aumentar a segurança para os condutores.

A análise de sensibilidade efetuada ao modelo de previsão do número de acidentes de Sun e Edara (2014) permitiu concluir que o TMDA e a duração de obra são os fatores mais importantes associados à sinistralidade em obra.

No modelo de previsão desenvolvido para o conjunto de obras selecionado, o comprimento de obra não teve significância estatística, o que poderá dever-se à pouca variabilidade da extensão das obras analisadas.

O modelo foi desenvolvido unicamente para os acidentes com vítimas mortais e feridos, pois não foi possível obter os dados relativos aos acidentes com danos materiais, tendo apresentado um bom ajuste.

Através do estudo da capacidade da autoestrada A28 foi possível confirmar a redução da mesma em período de obra, quando comparada com as condições normais de funcionamento. A redução da capacidade levou, tal como esperado, à formação de filas de espera e consequentes atrasos para os veículos.

A influência da sinalização temporária nas zonas de obra não foi analisada por falta de informação. Como trabalho futuro, seria interessante desenvolver um estudo aprofundado da sinalização, analisando as formas dos sinais, tamanhos, cores e condições de implementação dos mesmos, nomeadamente em termos de distâncias de sinais, tentando encontrar uma relação entre as características da sinalização temporária e a sinistralidade em zonas de obra.

Uma das questões a analisar seria a adequação do tamanho da sinalização ao tipo de condutores, nomeadamente os de idade mais avançada, tendo em conta que nas faixas etárias mais elevadas a perceção da sinalização pode não ser tão boa, sendo prejudicada por uma dimensão insuficiente dos sinais.

O trabalho desenvolvido, nomeadamente a realização do modelo, foi sustentado numa amostra relativamente pequena. Seria um estudo de valor acrescentado efetuar um modelo, baseado no desenvolvido, com a adição de mais obras, aumentando a amostra.

Com o aumento da amostra, poderia efetuar-se uma separação por tipo de obra e localização da mesma, permitindo assim analisar quais os tipos e locais de obra associados a um maior risco de acidente.

No que diz respeito às variáveis utilizadas no desenvolvimento de um modelo, seria interessante integrar novas variáveis, analisando as relações entre estas, de forma a obter um melhor ajuste às condições viárias em Portugal.

A elaboração de um modelo mais eficaz seria uma boa adição à informação disponível acerca das obras em estradas, assunto que se encontra pouco desenvolvido em Portugal.

Na análise da capacidade da autoestrada A28 foi necessário assumir alguns valores, nomeadamente no que diz respeito às velocidades praticadas. Seria interessante procurar criar um conjunto de regras para recolha de dados para facilitar o cálculo de capacidades e atrasos.

A abordagem de cálculo da capacidade utilizada foi uma abordagem clássica, no entanto, em trabalhos futuros, esta análise poderia ser feita recorrendo à modelação, a partir da utilização de modelos de microsimulação de tráfego.

Referências Bibliográficas

- Adeli, H., Jiang, X. (2003). "Neuro-Fuzzy Logic Model for Freeway Work Zone Capacity Estimation." Journal of Transportation Engineering **129**(5): 484-493.
- Al-Kaisy, A. and E. Kerestes (2006). "Evaluation of the effectiveness of single-lane two-way traffic control at maintenance and reconstruction zones." Canadian Journal of Civil Engineering **33**(9): 1217-1226.
- Athens, N.-N. T. U. o. (1996-1998). "Advanced Research on Road Work Zone Safety Standards in Europe." Road Work Zone Safety.
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, A. (2009). "Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária."
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, A. (2013). "Anuário de Segurança Rodoviária."
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, A. (2013). "Relatório Nacional Anual- Vítimas a 30 dias."
- Bai, Y. and Y. Li (2006). Determining major causes of highway work zone accidents in Kansas, Kansas Department of Transportation.
- Batson, R. G., et al. (2009). Work zone lane closure analysis model, University Transportation Center for Alabama.
- Battles, S. (2004). "Congestion is the challenge." Public roads **67**(6).
- Begonha, J. (2008). "Rede Nacional de auto-estradas - características técnicas." INIR.
- Chambless, J., et al. (2002). "Multistate work-zone crash characteristics." Institute of Transportation Engineers. ITE Journal **72**(5): 46.
- Chien, S. I. J., et al. (2002). "Simulation-based estimates of delays at freeway work zones." Journal of Advanced Transportation **36**(2): 131-156.
- Costa, J. O. d. (2013). "Desenvolvimento dum modelo de previsão de acidentes."
- Cruz, M. M. L. (2006). "Avaliação dos impactos de restrições ao trânsito de veículos." Universidade Estadual de Campinas.
- DGV (2005). "Sinistralidade Rodoviária 2005- elementos estatísticos."
- Dixon, K., et al. (1996). "Capacity for North Carolina Freeway Work Zones." Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board **1529**: 27-34.

Donário, A. A. and R. B. dos Santos (2012). "Custo Económico e Social dos Acidentes de Viação em Portugal." económica **500**: 6.

DoT, U. (2003). "Manual on uniform traffic control devices (MUTCD)." Federal Highway Administration, Washington, DC.

El-Rayes, K., et al. (2010). Studying and Minimizing Traffic-Related Work Zone Crashes in Illinois, Interim Report.

Elghamrawy, T. M. (2011). Optimizing work zone practices for highway construction projects, University of Illinois at Urbana-Champaign.

Estradas, J. A. d. (1997). "Manual de Sinalização Temporária." **Tomo II.**

Gomes, D. d. J. C. (2012). "Sinalização temporária em ambiente urbano: manual de boas práticas."

Government, D. f. T. H. A. D. f. R. D. N. I. T. S. W. A. (2009). "Traffic Safety Measures and Signs for Road Works and Temporary Situations." **Contents of Chapters 1-8**(Part 1: Design).

Heaslip, K., et al. (2009). "Estimation of Freeway Work Zone Capacity Through Simulation and Field Data." Transportation Research Record **2130**(2130): 16-24.

Illinois, et al. (2001). "Innovation during bridge rehabilitation improves mobility." from <http://purl.access.gpo.gov/GPO/LPS13640>.

Interna, M. d. A. (2003). "Plano Nacional de Prevenção Rodoviária."

IRTAD (1998). "Defenitions and data availability, OCDE road transport research programme."

Jacob, J. (2013). "Revisão da Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária."

Jiang, Y. (1999). "Traffic Capacity, Speed, and Queue-Discharge Rate of Indiana's Four-Lane Freeway Work Zones." Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board **1657**: 10-17.

Karim, A. and H. Adeli (2003). "Radial basis function neural network for work zone capacity and queue estimation." Journal of Transportation Engineering **129**(5): 494-503.

Khattak, A. J., et al. (2002). "Effects of work zone presence on injury and non-injury crashes." Accident Analysis and Prevention **34**(1): 19-29.

Kim, T., et al. (2001). A new methodology to estimate capacity for freeway work zones. 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.

Kostyniuk, L. P., et al. (2000). Are women taking more risks while driving? A look at Michigan drivers. Women's Travel Issues Second National Conference.

Krammes, R. A. and G. O. Lopez (1994). "Updated capacity values for short-term freeway work zone lane closures." Transportation Research Record(1442): 49-56.

Lee, H.-Y. (2009). "Optimizing schedule for improving the traffic impact of work zone on roads." Automation in Construction **18**(8): 1034-1044.

Li, Y. and Y. Bai (2008). "Development of crash-severity-index models for the measurement of work zone risk levels." Accident Analysis and Prevention **40**(5): 1724-1731.

Li, Y. and Y. Bai (2009). "Highway work zone risk factors and their impact on crash severity." Journal of Transportation Engineering **135**(10): 694-701.

McCoy, P. T., et al. (1980). "Optimum length of two-lane two-way no-passing traffic operation in construction and maintenance zones on rural four-lane divided highways." Transportation Research Record **773**: 20-24.

McGee, H. W., et al. (1995). Effect of highway standards on safety, Transportation Research Board.

Meng, Q. and J. Weng (2011). "An improved cellular automata model for heterogeneous work zone traffic." Transportation Research Part C: Emerging Technologies **19**(6): 1263-1275.

Meng, Q. and J. Weng (2013). "Optimal subwork zone operational strategy for short-term work zone projects in four-lane two-way freeways." Journal of Advanced Transportation **47**(2): 151-169.

Merkle, D., et al. (2002). "Ant colony optimization for resource-constrained project scheduling." Evolutionary Computation, IEEE Transactions on **6**(4): 333-346.

Mitra, S. and S. Washington (2007). "On the nature of over-dispersion in motor vehicle crash prediction models." Accident Analysis and Prevention **39**(3): 459-468.

National Research, C. and B. Transportation Research (2010). "HCM 2010 : highway capacity manual." from <http://www.hcm2010.org/>.

Nemeth, Z. A. and D. J. Migletz (1978). "Accident characteristics before, during, and after safety upgrading projects on Ohio's rural interstate system." Transportation Research Record **672**: 19-23.

Oliveira, P. (2007). "Os factores potenciadores da Sinistralidade Rodoviária—Análise aos factores que estão na base da sinistralidade." [www. a-cam. org](http://www.a-cam.org).

Ozturk, O., et al. (2013). Crash frequency modeling for highway construction zones. Proceedings of the Transportation Research Board 92nd Annual Meeting.

Qi, Y., et al. (2005). Frequency of work zone accidents on construction projects.

Roque, C. d. A. (2005). Sinalização Vertical, Acedido em.

Roque, I. d. I.-E. R. I. C. (2011). "Área adjacente à faixa de rodagem- Manual sobre aspectos de segurança."

Rouphail, N. M., et al. (1988). Comparative study of short-and long-term urban freeway work zones.

Seco, A., et al. (2008). Manual do planeamento de acessibilidades e transportes, Porto: CCDRN.

See, C. F. (2008). Crash analysis of work zone lane closures with left-hand merge and downstream lane shift, ProQuest.

Shyu, S. J., et al. (2004). "Application of ant colony optimization for no-wait flowshop scheduling problem to minimize the total completion time." Computers & Industrial Engineering **47**(2): 181-193.

Silva, R. A. B. d. (2015). "Modelos de Previsão de Acidentes para Interseções de Três Ramos em Zonas Urbanas e Periurbanas."

Srinivasan, R., et al. (2011). Use of empirical Bayesian methods to estimate temporal-based crash modification factors for construction zones. Transportation Research Board 90th Annual Meeting, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC.

Sun, C., et al. (2014). "Calibration of Highway Safety Manual Work Zone Crash Modification Factors."

Tang, Y. and S. Chien (2009). "Optimization of Work Zone Schedule Considering Time-Varying Traffic Diversion." Transportation Research Board.

Transportation, F. D. o. (2008). "EVALUATION OF INNOVATIVE SAFETY TREATMENTS." **Final Report.**

Ullman, G. L., et al. (2011). A Primer on Work Zone Safety and Mobility Performance Measurement.

Venugopal, S. and A. Tarko (2000). "Safety models for rural freeway work zones." Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1715): 1-9.

Wang, J., et al. (1996). "Investigation of highway work zone crashes: What we know and what we don't know." Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1529): 54-62.

Weng, J. and Q. Meng (2011). "Analysis of driver casualty risk for different work zone types." Accident Analysis and Prevention **43**(5): 1811-1817.

Weng, J. and Q. Meng (2013). "Estimating capacity and traffic delay in work zones: An overview." Transportation Research Part C: Emerging Technologies **35**: 34-45.

Wolshon, B. and L. Lambert (2006). "Reversible lane systems: Synthesis of practice." Journal of Transportation Engineering **132**(12): 933-944.

Yang, H., et al. (2015). "Work Zone Safety Analysis and Modeling: A State-of-the-Art Review." Traffic Injury Prevention **16**(4): 387-396.

Yang, H., et al. (2013). "Modeling work zone crash frequency by quantifying measurement errors in work zone length." Accident Analysis and Prevention **55**: 192-201.