

ESTUDO DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS ENVOLVENDO PEÕES EM PASSADEIRAS E AVALIAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DE UM SISTEMA INOVADOR NA REDUÇÃO DE VELOCIDADE NA MITIGAÇÃO DO PROBLEMA

MARIA INÊS COSTA SILVA NUNES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM PLANEAMENTO DO TERRITÓRIO E
TRANSPORTES**

Orientador: Professor Doutor António José Fidalgo do Couto

JUNHO DE 2022

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2021/2022

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2021/2022 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2022.*

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

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

A meus Pais e Irmã

“Mais vale perder um minuto na vida, do que a vida num minuto”

Provérbio português

AGRADECIMENTOS

Começo, primeiramente, por agradecer ao Professor Doutor António José Fidalgo do Couto pela sua disponibilidade e preocupação na realização desta dissertação, com o intuito de me aconselhar de forma que esta corresse da melhor maneira.

Agradeço ao Doutor Engenheiro Francisco João Anastácio Duarte por toda a sua ajuda ao longo deste trabalho, pelo fornecimento de literatura essencial, pela orientação do trabalho e pelas recomendações para que a elaboração desta dissertação fosse realizada com sucesso. Um obrigado por me acolher durante este semestre na sua empresa.

Aos meus pais pelos valores transmitidos, esforço e apoio para que fosse possível a minha formação académica.

À minha irmã por tornar os objetivos mais fáceis de alcançar e pela força transmitida.

Ao Pedro por toda a paciência, motivação e apoio incondicional ao longo dos tempos e pela ajuda nos momentos de maior dificuldade.

Agradeço aos meus amigos que me acompanharam ao longo destes anos, pelo companheirismo, pelas situações de descontração e por me incentivarem durante a dissertação.

Agradeço aos Professores de Mestrado e aos meus colegas pelo conhecimento transmitido e pela boa disposição e tranquilidade durante as aulas.

RESUMO

A realização desta dissertação tem como principal objetivo o estudo detalhado dos acidentes rodoviários, envolvendo peões, e explicar como o sistema inovador *Pavement Energy Harvesting* é uma solução na mitigação do problema do excesso de velocidade. A sinistralidade rodoviária é um problema em todo o mundo, sendo os atropelamentos um tipo de acidente que pode ser evitado, através de projetos e medidas implementadas, como por exemplo através de alguns sistemas inovadores que a Pavnext apresenta.

Existem diversos fatores como por exemplo, excesso de velocidade, a má iluminação da estrada assim como a falta de sinalização que estão na origem dos acidentes rodoviários, os quais serão abordados neste trabalho, de forma a identificar a sua importância no combate à sinistralidade rodoviária.

A inovação em relação a medidas de sistemas de redução de velocidade tem sido bastante explorada, sendo feita uma análise mais detalhada de medidas que oferecem uma maior segurança para os peões utilizando novas tecnologias.

De entre as várias soluções de redução de velocidade já implementadas e testadas, o sistema *Pavement Energy Harvesting* surge como uma novidade no mercado. Assim será realizada uma caracterização de um sistema específico de PEH desenvolvido pela Pavnext. Pretende-se determinar a eficácia do PEH na segurança rodoviária, mais direcionada na proteção dos peões, estimando a percentagem de redução de colisões e vítimas mortais com a utilização do sistema PEH. O sistema PEH é composto por um controlo de velocidade e iluminação nas passeadeiras, em que numa primeira abordagem foi determinada a eficácia de cada aspeto e posteriormente, a eficácia quando utilizados ao mesmo tempo.

Por fim, tendo em conta a eficácia de medidas já implementadas foi feita uma comparação dessas com o sistema da Pavnext de forma a verificar o impacto a nível económico e social que cada uma terá.

PALAVRAS-CHAVE: Segurança Rodoviária, Peões, Passeadeiras, Redução de Velocidade, Inovação

ABSTRACT

The realization of this dissertation has as main objective the detailed study of road accidents, involving pedestrians, and explain how the innovative system *Pavement Energy Harvesting* is a solution in mitigating the problem of speeding. Road accidents are a problem all over the world, being pedestrian collisions a type of accident that can be avoided, through projects and implemented measures, such as innovative systems like Pavnext presents.

There are several factors such as speeding, poor road lighting and the lack of signage that are at the origin of road accidents that will also be addressed in this work, in order to identify their importance in combating road accidents.

Innovation in terms of speed reduction systems has been widely explored, with a more detailed analysis of measures that offer greater safety for pedestrians using new technologies.

Among the various speed reduction solutions already implemented and tested, the *Pavement Energy Harvesting* system appears as a novelty in the market. A specific PEH system developed by Pavnext will be characterised. The aim is to determine the effectiveness of the PEH in road safety, more focused on pedestrian protection, estimating the percentage of reduction of collisions and fatalities with the use of the PEH system. The PEH system is composed of speed control and lighting at pedestrian crossings, in which in a first approach the effectiveness of each aspect was determined, and subsequently, the effectiveness when used at the same time.

Finally, taking into account the effectiveness of measures already implemented was made a comparison of these with the system of Pavnext in order to verify the economic and social impact that each one will have.

KEYWORDS: Road Safety, Pedestrians, Crosswalks, Speed Reduction, Innovation

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. PAVNEXT	3
1.3. OBJETIVOS	4
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	4

2. ENQUADRAMENTO	7
2.1. SINISTRALIDADE	7
2.1.1. COVID-19	7
2.1.2. ANÁLISE COMPARATIVA- 2019 VS 2021	8
2.2. ATROPELAMENTO	9
2.3. RELAÇÃO ENTRE SINISTRALIDADE E VELOCIDADE	9
2.4. CUSTO ECONÓMICO E SOCIAL	12
2.5. PROJETOS PARA MELHORAR A SINISTRALIDADE RODOVIÁRIA	16
2.5.1. DÉCADA DE AÇÃO PARA A SEGURANÇA RODOVIÁRIA 2021-2030	16
2.5.2. VISÃO ZERO 2050	18
2.5.3. VISÃO ZERO 2030- PORTUGAL	21

3. MEDIDAS DE MITIGAÇÃO	25
3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	25
3.2. MEDIDAS IMPLEMENTADAS DE SISTEMAS DE REDUÇÃO DE VELOCIDADE	26
3.2.1. SINALIZAÇÃO NAS PASSADEIRAS	26
3.2.2. MELHORIA DE INTERSEÇÕES DA VIA	27
3.2.2.1. Rotundas e mini-rotundas	28
3.2.2.2. Sinalização luminosa- semáforos	28
3.2.3. ALTERAÇÕES NOS ALINHAMENTOS HORIZONTAIS	30
3.2.3.1. Chicanes	30

3.2.3.2. Estrangulamentos	31
3.2.3.3. Estreitamento junto às entradas de interseções	32
3.2.4. ALTERAÇÕES NOS ALINHAMENTOS VERTICAIS	33
3.2.4.1. Pré- avisos sonoros.....	33
3.2.4.2. Lombas redutoras de velocidade	33
3.2.4.2. Passagens pedonais elevadas	34
3.2.5. PASSADEIRAS 3D	35
3.3. ILUMINAÇÃO	35
3.4. MEDIDAS INOVADORAS DE SISTEMAS DE REDUÇÃO DE VELOCIDADE	36
 4. O SISTEMA DE PEH	 47
4.1. SISTEMA DE PAVEMENT ENERGY HARVESTING	47
4.2. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO SISTEMA PEH	50
4.3. ANÁLISE DAS NOVAS MEDIDAS	55
4.4. EXEMPLO DE APLICAÇÃO	56
 5. CONCLUSÕES	 59
5.1. CONCLUSÕES FINAIS	59
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 61
 ANEXOS	 67
A1. CUSTOS ECONÓMICOS E SOCIAIS ANUAIS DOS ACIDENTES RODOVIÁRIOS EM PORTUGAL (1996-2010).....	68
A2. CUSTOS MÉDIOS ANUAIS DOS ACIDENTES RODOVIÁRIOS POR TIPO DE VÍTIMA EM PORTUGAL (1996-2010).....	71
A3. ESTIMAÇÃO DO CUSTO MÉDIO DOS ACIDENTES RODOVIÁRIOS POR TIPO DE VÍTIMA EM PORTUGAL (2022).....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1- Evolução da taxa de urbanização, adaptado de (World Urbanization Prospects: The 2018 Revision).....	1
Fig.2- Evolução dos acidentes e vítimas no Continente, janeiro a novembro, entre 2017 e 2021 (ANSR 2021)	2
Fig.3- Sinistralidade rodoviária dentro e fora das localidades, janeiro a novembro, em 2021, adaptado de (ANSR 2021)	2
Fig.4- Conceito da Pavnext	4
Fig.5- Vítimas mortais e feridos graves por mês, 2019 vs 2020 adaptado de (ANSR 2020)	8
Fig.6- Modelo de Wramborg para probabilidade de fatalidade versus velocidades de colisão de veículos (Wramborg 2005)	10
Fig.7- Probabilidade de lesão fatal de um peão colidir com um veículo.....	11
Fig.8- Ilustração do Power model e da relação entre o percentual de alteração na velocidade e o percentual de alteração no número de colisões (WHO, 2008)	11
Fig.9- Campo de visão de um condutor a diferentes velocidades (WHO, 2014).....	12
Fig.10- Relação entre velocidade de circulação e distância de paragem adaptado (Sécurité Routière)	12
Fig.11- Componentes do custo económico e social dos acidentes de viação (ANSR 2021)	14
Fig.12- Repartição do custo económico e social total dos acidentes de viação, 2019, adaptado (ANSR 2021)	14
Fig.13- Custo económico e social total dos acidentes de viação, 2019 (ANSR 2021).....	15
Fig.14- Estimativa do custo médio por acidente segundo a sua natureza, 2019 (ANSR 2021).....	16
Fig.15- Medidas Década de Ação para a Segurança Rodoviária 2021-2030	17
Fig.16- Hierarquia dos Resultados do Sistema Seguro a nível da UE, adaptado de (Comissão Europeia)	19
Fig.17- Zona residencial ou de coexistência.....	26
Fig.18- Sinal de aproximação a uma passadeira.....	27
Fig.19- Sinal de perigo na chegada a uma passadeira	27
Fig.20- Sinalização luminosa para peões	28
Fig.21- Sinalização luminosa para veículos.....	29
Fig.22- Passagem de peões fora de uma passadeira- percurso em arco.....	29
Fig.23- Chicane por recurso a curvas e contra-curvas	31
Fig.24- Chicane com ilhéu separador	31
Fig.25- Esquema de um estrangulamento a partir dos lados	32
Fig.26- Estrangulamento da via com recurso a ilha de refúgio.....	32

Fig.27- Estrangulamento com redução da distância de atravessamento para peões	32
Fig.28- Esquema de estreitamento junto a entradas de interseções.....	33
Fig.29- Pré-avisos (Google Maps)	33
Fig.30- Lomba redutora de velocidade	34
Fig.31- Passagem pedonal elevada (Google Maps)	34
Fig.32- Passadeira 3D em Cascais.....	35
Fig.33- Passadeira 3D na Islândia	35
Fig.34- Painéis fotovoltaicos da Solar Innova	37
Fig.35- Piso fotovoltaico caminhável da Onxy Solar	38
Fig.36- Platio Solar	38
Fig.37- Lybra da Underground Power	39
Fig.38- Tope Inteligente quando os veículos excedem os limites de velocidade	39
Fig.39- Tope Inteligente quando os veículos circulam a velocidades legais	40
Fig.40- Sinal de advertência de uma lomba.....	40
Fig.41- Actibump	41
Fig.42- APL Systems.....	41
Fig.43- Paso Peatonal Inteligente 2.0	42
Fig.44- Iluminação embutida com LED do sistema Paso de Peatones Inteligente	43
Fig.45- Semáforos horizontais do sistema Paso de Peatones Inteligente	43
Fig.46- Postes de sinalização de trânsito Ekaldes.....	44
Fig.47- Sistema Smart Cross Walk	44
Fig.48- SR-CROSSLED-L	45
Fig.49- SR-CROSSLED-S.....	45
Fig.50- Flowell da Amixum	45
Fig.51- Sistema Pavement Energy Harvesting	47
Fig.52- Sensor de deteção de peões	48
Fig.53- Dispositivo com módulos	48
Fig.54- Ilustração do Power model e da relação entre o percentual de alteração na velocidade e o percentual de alteração no número de colisões (WHO, 2008)	51

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1-Comparação entre Visão Tradicional e Visão Zero	20
Quadro 2- Resumo das características do sistema PEH.....	49
Quadro 3- Alteração da velocidade média e do número de colisões	51
Quadro 4- Relação velocidade e colisões.....	51
Quadro 5- Relação velocidade e vítimas mortais	52
Quadro 6- Resultados da redução de colisões e vítimas mortais segundo a iluminação horizontal....	52
Quadro 7- Resultados do cálculo direto da eficácia do sistema PEH.....	53
Quadro 8- Efeito combinado dos acontecimentos na redução de colisões e vítimas mortais.....	54
Quadro 9- Resultados da metodologia de cálculo da eficácia do sistema PEH	54
Quadro 10- Valores do efeito do controlo da velocidade quando a eficácia do sistema PEH é de 100%	55
Quadro 11- Número de metros necessários quando a eficácia do sistema PEH é de 100%	55
Quadro 12- Análise técnica comparativa	56
Quadro 13- Redução do número de feridos leves e dos custos de feridos leves de acordo com as medidas selecionadas	57
Quadro 14- Redução do número de feridos graves e dos custos de feridos graves de acordo com as medidas selecionadas.....	58
Quadro 15- Redução do número de vítimas mortais e dos custos de vítimas mortais de acordo com as medidas selecionadas	58

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

OMS - Organização Mundial de Saúde

ANSR - Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária

AcV - Acidentes com Vítimas

AcVM - Acidentes com Vítimas Mortais

AcFG - Acidentes com Feridos Graves

VM - Vítimas Mortais

FG - Feridos Graves

FL - Feridos Leves

UE - União Europeia

PEH - Pavement Energy Harvesting

COVID-19 - Doença por Coronavírus 2019

UNECE - Comissão Económica das Nações Unidas para a Europa

PIB - Produto Interno Bruto

CEGE - Centro de Estudos de Gestão do ISEG

ISEG - Instituto Superior de Economia e Gestão da Universidade de Lisboa

ONU - Organização das Nações Unidas

PENSE - Plano Estratégico Nacional de Segurança Rodoviária

FERSI - Forum of European Road Safety Research Institutes

MAAS - Mobility As A Service

LRV - Lomba Redutora de Velocidade

UV - raios Ultravioleta

LED - Light Emitting Diode

APL - Attaversamenti Pedonali Luminosi

STS - Severs Technical Systems

V2X - Veículo para tudo

Fig. - Figura

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Ao longo dos anos, com o aumento da população mundial, tem-se verificado um aumento do número de habitantes nos grandes centros urbanos. Atualmente, 55% da população mundial vive em áreas urbanas, uma proporção que se espera que aumente para 68% até 2050 [1]. O denominado “êxodo rural” leva ao abandono do campo e de zonas rurais devido à deslocação da população, geralmente em busca de melhores condições de vida, para os centros urbanos. Como apresentado na figura 1, o aumento da taxa de urbanização leva a um incremento do número de acidentes rodoviários. De acordo com a recolha de indicadores de desenvolvimento do Banco Mundial, em 2020, a taxa de urbanização em Portugal era de 66,3% e em 2050 espera-se que esta aumente para 79,3%. O espaço urbano está pouco adaptado para esse fenómeno e, desta forma, o risco de ocorrência de acidentes rodoviários é maior. Existe assim, uma grande preocupação por parte das entidades responsáveis na melhoria da segurança rodoviária, tanto a nível da circulação de veículos como a nível da mobilidade de peões.

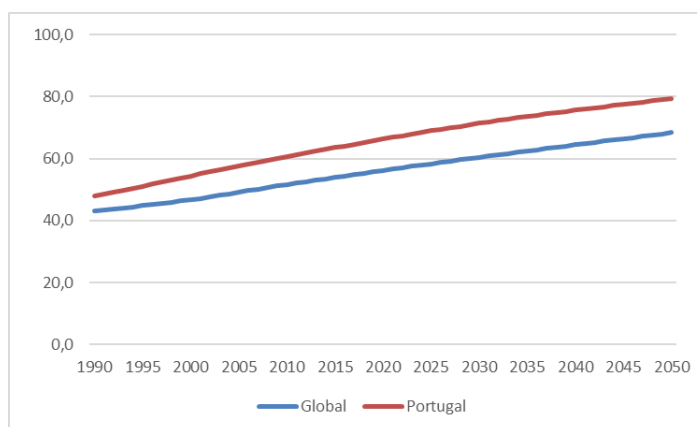


Fig.1- Evolução da taxa de urbanização, adaptado de (World Urbanization Prospects: The 2018 Revision)

Medidas de prevenção como por exemplo a utilização do cinto de segurança, o uso de radares para controlar o excesso de velocidade e a implementação de lombas de redutoras de velocidade junto às escolas, foram e continuam a ser fundamentais para a melhoria da segurança rodoviária. Embora o número de mortes nas estradas continue a diminuir [2], existe uma necessidade de inovar as medidas de prevenção, de forma a que o número de acidentes rodoviários continue a verificar um decréscimo constante ao longo dos anos.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), todos os anos, aproximadamente 1,3 milhões de pessoas perde a vida na consequência de um acidente rodoviário [3]. E entre 20 e 50 milhões de pessoas sofrem lesões não fatais, mas muitas delas possuem algum tipo de deficiência em consequência dos ferimentos provocados pelos acidentes rodoviários.

Em Portugal, segundo dados fornecidos pela Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR) no ano de 2021, entre janeiro e novembro, ocorreram 26317 acidentes com vítimas no Continente, dos quais 357 resultaram em vítimas mortais, 1911 feridos graves e 30761 feridos leves. Como apresentado na figura 2, nos primeiros 11 meses do ano entre 2017 e 2021, os principais indicadores de sinistralidade no Continente apresentam resultados decrescentes: -16,0% nos acidentes (AcV), -7,3% nos acidentes com vítimas mortais ou feridos graves (AcVM+AcFG), -22,4% nas vítimas mortais (VM), -4,4% nos feridos graves (FG) e -19,1% nos feridos leves (FL).

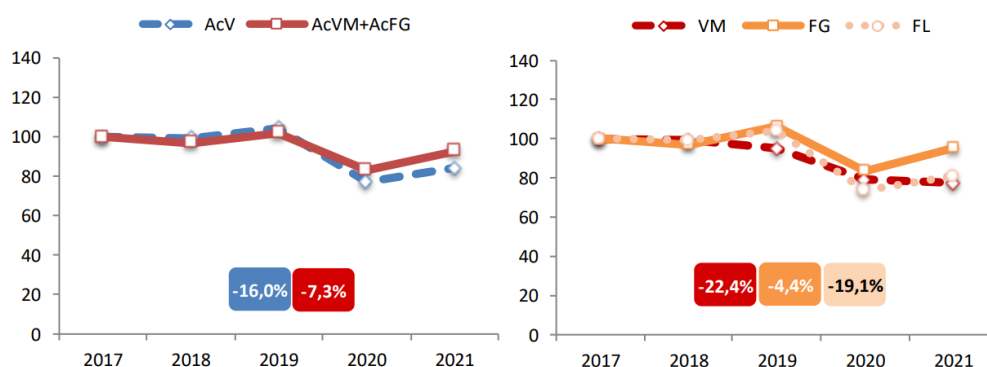


Fig.2- Evolução dos acidentes e vítimas no Continente, janeiro a novembro, entre 2017 e 2021 (ANSR 2021)

Importa salientar onde ocorrem estes acidentes, se dentro ou fora das localidades. De acordo com os dados referentes a 2021 [4], entre janeiro e novembro, a sinistralidade dentro das localidades corresponde a 79,8% dos acidentes, 56,3% das vítimas mortais, 63,8% dos feridos graves e 78,4% dos feridos leves. Através da análise da figura 3, conclui-se que é dentro das localidades que ocorrem mais acidentes rodoviários e consequentemente mais vítimas e feridos.

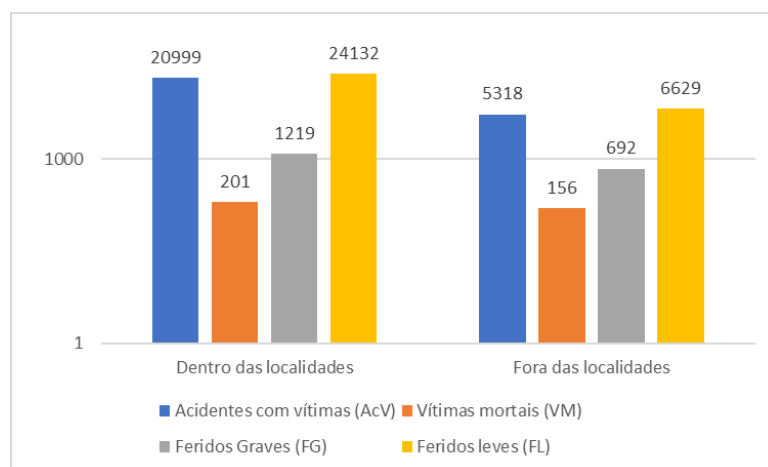


Fig.3- Sinistralidade rodoviária dentro e fora das localidades, janeiro a novembro, em 2021, adaptado de (ANSR 2021)

Os acidentes de viação provocam anualmente significativos custos humanos, económicos e sociais para a sociedade. É fundamental quantificar esses custos para que seja possível levar a debate as políticas públicas de segurança rodoviária em Portugal, para análises de custo-benefício e para quantificar o retorno social de investimentos em infraestruturas e em programas de educação para a segurança rodoviária e de prevenção da sinistralidade [5].

Os acidentes rodoviários e as suas consequências são um problema social significativo, bem como um dos indicadores do desenvolvimento sustentável dos sistemas urbanos. Mais de 10 000 peões e ciclistas são mortos todos os anos nos países da UE, representando mais de 20 % de todas as mortes na estrada [6].

De forma a reduzir o número de acidentes rodoviários, a Organização Mundial de Saúde juntamente com as Comissões Regionais das Nações Unidas criaram o plano global “Década de Ação para a Segurança Rodoviária 2021-2030”, tendo como objetivo a redução de pelo menos 50% das mortes e ferimentos no trânsito rodoviário neste período de tempo. O Plano descreve as ações necessárias para atingir o objetivo, incluindo ações aceleradas para tornar seguras as deslocações a pé, de bicicleta e utilizando transportes públicos, uma vez que são também modos de transporte mais saudáveis e ecológicos; para assegurar estradas, veículos e comportamentos seguros e para garantir cuidados de emergência atempados e eficazes [7].

A União Europeia tem o objetivo de reduzir as mortes e os feridos graves nas estradas a zero até 2050, nas estradas europeias- “Visão Zero 2050”.

A nível nacional, a Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR) definiu a Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária 2021-2030 – Visão Zero 2030. A Visão Zero 2030 tenciona dar seguimento às medidas implementadas ao longo dos anos pela definição de novas metas, assumindo um compromisso com toda a sociedade, através de planos de ação bienais a iniciar em 2021 e abrangendo um período total de 10 anos.

1.2. PAVNEXT

A Pavnext é uma startup que surgiu com a ambição de procurar soluções inovadoras que contribuam para uma maior sustentabilidade ambiental e económica, assim como para uma melhor qualidade de vida humana. Para além disso tem como objetivo olhar de uma forma diferente para a segurança rodoviária. A empresa desenvolveu e patenteou a nível internacional um sistema inovador de redução de velocidade autónomo designado por *Pavement Energy Harvesting* (PEH).

O PEH é aplicado em pavimentos rodoviários que permite reduzir a velocidade de circulação de veículos sem depender da ação dos condutores e sem induzir impacto nos veículos, promovendo deste modo a segurança rodoviária em locais onde é necessário circular a baixa velocidade, como na aproximação a passeadeiras, rotundas, escolas, hospitais, entre outros. A extração da energia cinética dos veículos é realizada de forma não agressiva para os condutores e demais ocupantes dos veículos, ao contrário do que acontece hoje em dia em lombas redutoras de velocidade. A energia captada é depois convertida em energia elétrica, com uma elevada eficiência de conversão, através da mesma tecnologia. Posteriormente, a energia elétrica pode ser utilizada para alimentar dispositivos elétricos de sinalização, que apresenta um impacto bastante positivo na diminuição do número de acidentes, promovendo a segurança rodoviária do local.

Para além da melhoria da segurança rodoviária, o projeto da Pavnext permite ainda fazer uma monitorização e gestão do tráfego em tempo real, de forma a otimizar a energia consumida e apresentar uma redução da emissão do ruído e do impacto nos automóveis.

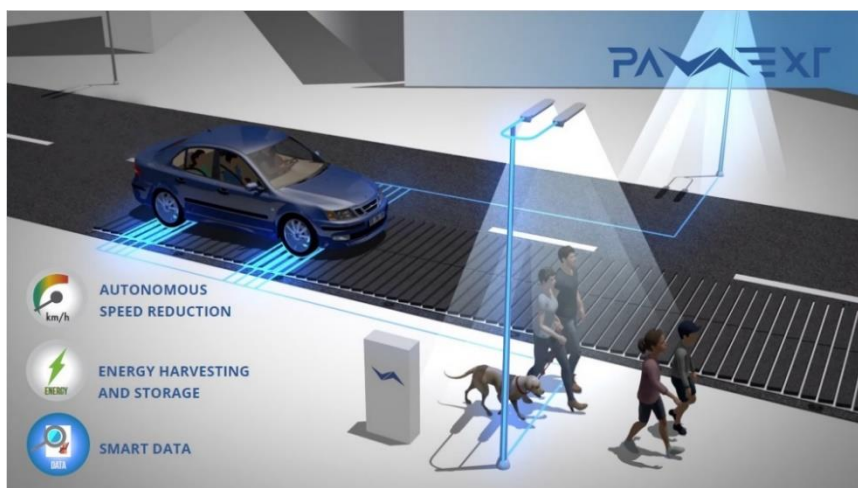


Fig.4- Conceito da Pavnext

1.3. OBJETIVOS

Esta dissertação tem como objetivo principal avaliar a potencial contribuição de um sistema inovador- *Pavement Energy Harvesting*- na segurança rodoviária, em ambiente urbano, envolvendo peões e atuando principalmente em passeadeiras.

Inicialmente será realizado um estudo que passa pela análise detalhada dos acidentes rodoviários envolvendo peões, de modo a determinar com maior exatidão as causas destes acidentes, utilizando uma metodologia de investigação objetiva, que permita obter dados concretos e realistas. O estudo será realizado numa escala internacional, nacional e no período de quarentena em relação à COVID-19, de forma a avaliar o impacto que teve nos acidentes rodoviários.

É necessário investigar outras soluções existentes no mercado ou ainda numa fase de conceção, para além do PEH existente na área de segurança rodoviária e destinadas à proteção de peões. Inclusive, será feita uma análise comparando técnica e economicamente as diferentes soluções, e será efetuada uma avaliação a nível da sua eficácia na redução de acidentes promovendo a segurança rodoviária.

Posteriormente, será realizada uma caracterização de um sistema específico de PEH desenvolvido pela Pavnext. Pretende-se determinar a eficácia do PEH na segurança rodoviária, mais direcionada na proteção dos peões, utilizando diferentes técnicas e métodos qualitativos e quantitativos baseados na investigação experimental.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este documento encontra-se dividido em 5 capítulos. O presente capítulo tem como objetivo alertar para a situação preocupante dos acidentes rodoviários a nível mundial e nacional, e introduzir uma resposta a esse problema, com foco nos atropelamentos. Neste capítulo é ainda apresentada uma breve introdução ao sistema inovador da Pavnext, os seus objetivos, a motivação e a forma como o documento está estruturado.

No segundo capítulo é feita uma abordagem mais profunda da sinistralidade rodoviária, com foco nos atropelamentos, a nível mundial, europeu e nacional. As causas que levam ao aumento do número de atropelamentos também é um assunto a tratar, nomeadamente o excesso de velocidade e o impacto que provoca nos acidentes rodoviários. Além disso, existe um subcapítulo referente ao custo económico e social que um acidente rodoviário.

No terceiro capítulo serão demonstrados projetos e medidas de mitigação criados a uma escala internacional, europeia e nacional, de modo a melhorar a segurança rodoviária e ao mesmo tempo reduzir a sinistralidade nas estradas.

O quarto capítulo aborda as soluções existentes de redução de velocidade, sejam elas medidas tradicionais ou medidas inovadoras, mesmo que ainda não estejam implementadas no mercado. Nesta parte pretende-se avaliar a eficácia das soluções desenvolvidas, percebendo assim as suas vantagens, desvantagens e as características que as diferenciam no mercado. Será feita uma caracterização do sistema PEH uma vez que esta é a principal solução em estudo nesta Dissertação.

Por último, é apresentada a metodologia utilizada para determinar o impacto do sistema PEH. Desta forma também será avaliado o potencial impacto que este sistema terá na segurança rodoviária.

2 ENQUADRAMENTO

2.1. SINISTRALIDADE

A sinistralidade rodoviária é uma preocupação presente na sociedade atual, que provém da existência de veículos em movimento nas vias públicas. É um acontecimento que, direta ou indiretamente, afeta a população mundial, com impacto negativo a todos os níveis: social, económico e ambiental.

Existem várias definições de acidentes rodoviários dependendo da origem do país. No caso da Comissão Económica das Nações Unidas para a Europa (UNECE), esta define um acidente de viação como qualquer acidente que ocorra ou tenha origem nos diferentes tipos de via pública, do qual resulte um ou mais feridos ou vítimas mortais, e onde esteja envolvido, pelo menos, um veículo em movimento [8]. Enquanto que, em Portugal, um acidente de viação é descrito como “Ocorrência na via pública ou que nela tenha origem envolvendo pelo menos um veículo em movimento, do conhecimento das entidades fiscalizadoras da qual resultem vítimas e/ou danos materiais” [9]. As duas definições apresentam vários aspetos em comum, principalmente o facto de um veículo estar envolvido no decorrer de um acidente. No entanto, em Portugal, a descrição de acidente rodoviário engloba a presença de vítimas ou apenas danos materiais, sendo mais abrangente que o definido pela UNECE.

Uma pessoa é considerada uma vítima resulta da ocorrência de sinistros em que tenham como consequência os danos humanos, tantos físicos como psicológicos. Quando os danos físicos são abordados, há três categorias de vítimas definidas: mortos, feridos graves (quando os danos corporais obrigam a um tempo de hospitalização superior a 24 horas) e feridos ligeiros (quando o tempo de hospitalização é inferior a 24h) [10].

Com base nas disposições do Código de Trânsito sobre a obrigatoriedade de notificação dos acidentes com vítimas, são distintos três grupos principais que ocorrem nas vias públicas. Os acidentes sem veículos envolvidos, ou seja, entre peões, não são definidos como acidentes de trânsito pelo Código de Trânsito, por isso não estão sujeitos a comunicação, independentemente do grau das lesões causadas.

Acidentes em que estão envolvidos veículos são relatáveis quando incorrem em lesões não desprezíveis [11].

2.1.1. COVID-19

A doença COVID-19 teve um grande impacto na sociedade atual, alterando os hábitos da população nas mais diversas atividades. Foram introduzidas medidas como o bloqueio e suspensão de todos os movimentos não essenciais. Como resultado, a condução também foi significativamente afetada, sendo realizadas menos viagens, e à medida que as restrições eram levantadas, foram observadas mais

atividades de tráfego. No entanto, este aumento foi muito inferior às atividades observadas antes da pandemia da COVID-19 [12]. Contudo, o número de mortes na estrada não teve uma diminuição proporcional à redução do tráfego. Durante o período de confinamento houve uma diminuição de até 80% no número de mortes [13].

As políticas de restrição de viagens amplamente adotadas pelas cidades de todo o mundo, desempenharam um importante papel na remodelação dos padrões de viagens urbanas. Ao mesmo tempo, foi registado um aumento nas viagens de bicicletas e nos acidentes de trânsito envolvendo ciclistas [14].

A nível mundial, os volumes de tráfego foram 12,2% mais baixos em 2020 do que a média de 2017-19 através dos onze países (Austrália, Canadá, Dinamarca, Finlândia, França, Grã-Bretanha, Alemanha, Japão, Países Baixos, Eslovénia e Suécia) que recolhem dados sobre o volume de viagens [15]. A diminuição dos volumes de tráfego nas estradas mundiais levou a uma diminuição de 21% de mortes na estrada em 2020, em comparação com o ano de 2019.

No espaço da União Europeia, em 2020, a pandemia Covid-19 também foi responsável principalmente por uma queda de 17% das mortes na estrada, sendo que 18.844 pessoas perderam a vida num acidente rodoviário, menos 10.847 do que em 2010, representando um decréscimo de 37% nos últimos 10 anos [16].

Em comparação à média europeia, em 2020, Portugal conseguiu reduzir o número de mortes de estrada em 37%, sendo este um valor acima da média europeia [16]. Em Portugal, também se verificou uma diminuição em todos os indicadores de sinistralidade nos primeiros 5 meses de 2020 relativamente ao mesmo período de 2019, como é demonstrado na figura 5. De acordo com a Autoridade Nacional Segurança Rodoviária (ANSR), foi no mês de abril onde foram registados os decréscimos mais acentuados: -67,5% de acidentes com vítimas, -50% mortos, -59,5% feridos graves e -71,5% feridos leves [15].

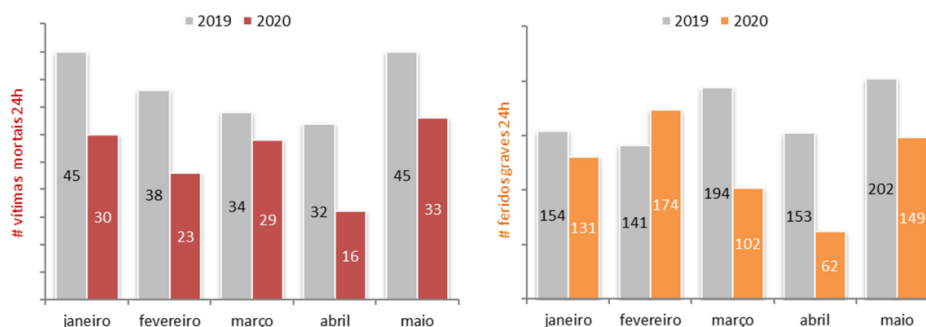


Fig.5- Vítimas mortais e feridos graves por mês, 2019 vs 2020 adaptado de (ANSR 2020)

2.1.2. ANÁLISE COMPARATIVA- 2019 VS 2021

No contexto de sinistralidade rodoviária faz sentido fazer uma comparação entre o ano de 2019 com o ano de 2021, uma vez que o 2020 foi considerado um “ano atípico” devido à pandemia de Covid-19, alterando os hábitos de circulação da população. Embora o ano 2021 não ser considerado um ano onde a normalidade rodoviária está implementada, este já se aproxima de números de acidentes rodoviários mais realistas.

A nível da União Europeia, em 2021 houve uma redução de 13% no número de vítimas mortais em comparação com o ano de 2019 [17].

De acordo com a Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, no ano de 2019 resultaram 474 vítimas mortais, 2 301 feridos graves e 43 202 feridos leves no Continente. Enquanto em 2021 registaram-se 389 vítimas mortais, 2 093 feridos graves e 33 812 feridos leves. Comparando os dois anos, os progressos positivos são visíveis no ano de 2021 registaram-se menos 19% de acidentes com vítimas mortais, menos 18% de vítimas mortais, menos 9% de feridos graves e menos 22% de feridos leves [18].

2.2. ATROPELAMENTO

Um atropelamento de peões é um tipo de acidente provocado por veículos, onde este colide com o peão ou peões que circulam na via pública ou em locais sujeitos à legislação rodoviária.

Em relação aos atropelamentos, tem-se verificado um aumento de número de mortes e feridos graves em comparação com os outros casos de sinistralidade. Isto ocorre devido às fragilidades dos peões, sujeitos ao impacto direto dos veículos, sem qualquer tipo de proteção, sendo os mais suscetíveis a ferimentos graves e até fatais. Há duas grandes causas para os riscos de atropelamentos: velocidade de impacto e a idade dos peões. As crianças e os idosos são os que necessitam de mais atenção devido às suas limitações funcionais e à falta de perceção de locais perigosos.

Os ciclistas e os motociclistas também são considerados utentes vulneráveis e segundo a Organização Mundial de Saúde em 2021, mais de metade de todas as mortes na estrada estão entre os utentes vulneráveis. Uma em cada cinco de todas as mortes na estrada em toda a União Europeia são peões. Esta proporção era superior para outros utentes vulneráveis da estrada, nomeadamente 9% para ciclistas, 3 % para ciclomotores e 16% para motociclos [19].

Em 2020, nas zonas urbanas, a percentagem de número de vítimas de peões é de 37%. Os utentes de motociclos representam 18% das mortes e o número de ciclistas (14%) que morreram continuou a crescer, o que significa que 70% do número total de vítimas mortais nas zonas urbanas são utentes vulneráveis da estrada [17].

O atropelamento de peões ocorre devido a inúmeras causas, sendo algumas delas da responsabilidade do meio circulante como por exemplo: a ausência de passeios na via pública, a má iluminação da via pública, a falta de pintura das passadeiras e a ausência de sinalização. O condutor também é responsável pelos atropelamentos na via pública. Muitas vezes estão preocupados apenas com os carros em circulação e não com os peões, fazem uso indevido do telemóvel durante a circulação e conduzem a velocidades elevadas.

É assim importante que os condutores de veículos cumpram as regras do Código da Estrada, de forma defensiva, tentando prever as ações dos peões, porque a prevenção é a melhor forma de evitar os sinistros, incluindo atropelamentos. O inverso também se verifica, quando os peões não respeitam a obrigação de utilização das passadeiras, nem a sinalização luminosa, ou quando decidem atravessar na faixa de rodagem, contribuindo para os próprios atropelamentos [20].

2.3. RELAÇÃO ENTRE SINISTRALIDADE E VELOCIDADE

O excesso de velocidade é uma das principais causas dos acidentes rodoviários. Para chamar a atenção da importância desta variável, aos longos dos anos, têm sido realizados vários estudos de forma a estabelecer uma possível relação entre o excesso de velocidade e os acidentes rodoviários. Uma vez que

os valores atuais, ainda que menos alarmantes como há alguns anos atrás, evidenciam ainda uma realidade preocupante e que necessita de medidas para a sua diminuição. Face a esta realidade surgem vários estudos devido à crescente preocupação com o aumento da segurança rodoviária. Normalmente, em qualquer altura, 50% dos condutores conduzem acima dos limites de velocidade, onde a maior parte dos condutores infratores não excedem mais de 20 km/h do limite estabelecido, apesar de existir uma fração de condutores ainda significativa que excedem em mais de 20 km/h [21].

A velocidade é uma variante que influencia muito significativamente e está na origem de acidentes, sobretudo quando os condutores conduzem a velocidades superiores impostas pelos limites e quando circulam a uma velocidade inapropriada. Apesar da identificação de fatores que contribuem para as colisões no trânsito seja subjetiva, existem estudos que indicam que a velocidade contribui em cerca de um terço das colisões e como consequência em acidentes fatais [22].

Um estudo em particular ilustra o efeito das velocidades de impacto sobre a gravidade dos vários tipos de colisão. Wramborg (2005) propôs as três relações de impacto de velocidade com a probabilidade de fatalidade, como mostra a figura 6. Estas relações assumem que os veículos em conflito têm igual massa. De acordo com estas curvas de probabilidade, existe uma probabilidade de 10% de resultado fatal quando os veículos têm impacto nas seguintes velocidades [23]:

- 30 km/h em acidentes peões/ciclistas
- 50 km/h em colisões de impacto lateral
- 70 km/h em colisões frontais.

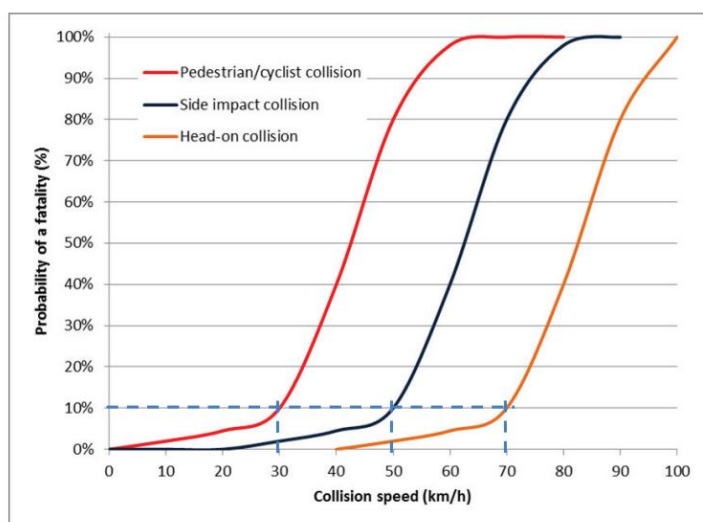


Fig.6- Modelo de Wramborg para probabilidade de fatalidade versus velocidades de colisão de veículos (Wramborg 2005)

Está comprovado que a probabilidade de um peão morrer num acidente rodoviário aumenta com a velocidade de impacto. Os resultados de colisões entre carros e peões mostram que 90% dos peões sobrevivem quando atropelados por um carro a velocidades de 30 km/h. Enquanto apenas 20% dos peões sobrevivem a velocidades de 50 km/h, como é possível observar na figura 7 [21]. A velocidade de impacto a que um peão tem 50% de hipóteses de sobreviver a uma colisão é de cerca 40-45 km/h.

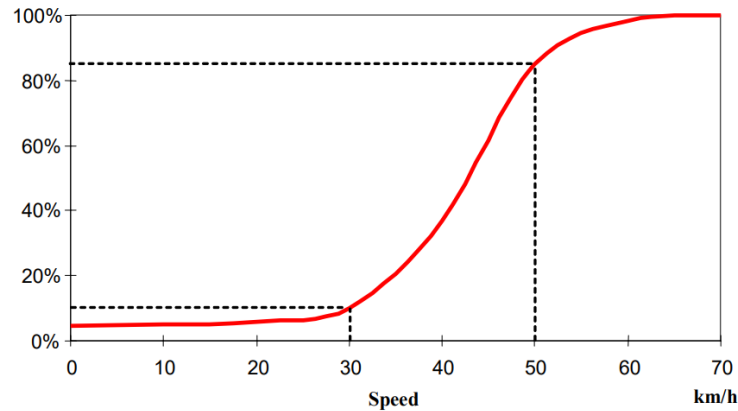


Fig.7- Probabilidade de lesão fatal de um peão colidir com um veículo

Vários estudos em diversos países mostram que por cada redução de 1% na velocidade resultará em uma redução aproximada de 4% nas mortes [24]. A partir de uma investigação extensa foram confirmados impactos adversos significativos na segurança rodoviária que decorrem do aumento da velocidade dos veículos. Essa pesquisa indica de maneira sistemática que uma velocidade mais elevada aumenta as taxas de colisões, lesões e fatalidades, e que uma velocidade mais baixa reduz essas taxas. O Power Model avalia os efeitos das mudanças na velocidade média sobre a incidência e gravidade das colisões no trânsito. Ele sugere que um aumento de 5% na velocidade média leva a um aumento de cerca de 10% nas colisões envolvendo lesões, e um aumento de 20% nas colisões fatais, como é apresentado na figura 8 [25].

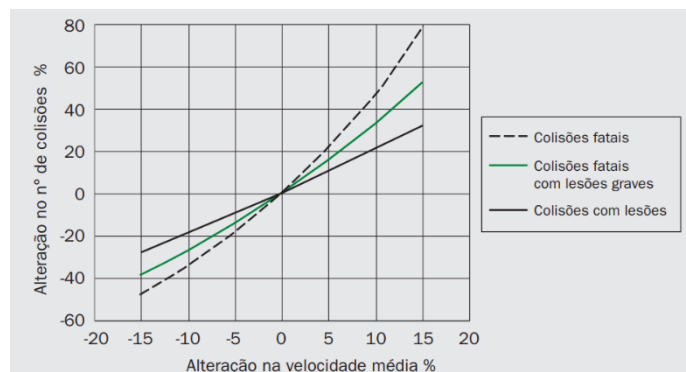


Fig.8- Ilustração do Power model e da relação entre o percentual de alteração na velocidade e o percentual de alteração no número de colisões (WHO, 2008)

Durante a condução, o condutor tem uma perspectiva do espaço envolvente notoriamente diferente daquela que teria se fosse um observador fixo, pois a velocidade de deslocamento do observador diminui o seu campo visual. Deste modo, ao aumentar a velocidade, restringe-se o campo de visão periférico, dentro do qual qualquer objeto pode ser visualizado pelo condutor [26]. Se o veículo circular a uma velocidade de 40 km/h, o condutor alcança 100% da capacidade de visualização. Mas se a velocidade for aumentada para 100 km/h seu campo de visão será de apenas 45 graus, como é apresentado na figura 9. A redução do campo de visão é notória, o que leva a uma maior dificuldade em observarmos a zona adjacente à estrada e a uma diminuição do tempo de reação, assim como da distância de reação e de travagem.



Fig.9- Campo de visão de um condutor a diferentes velocidades (WHO, 2014)

É de salientar que quanto maior a velocidade de um veículo, menor será o tempo que um condutor tem para parar e evitar um acidente. Consequentemente a distância de paragem também será maior. Na figura 10 é possível observar as distâncias de reação e travagem, em metros, de acordo com a velocidade a que um veículo se movimenta.

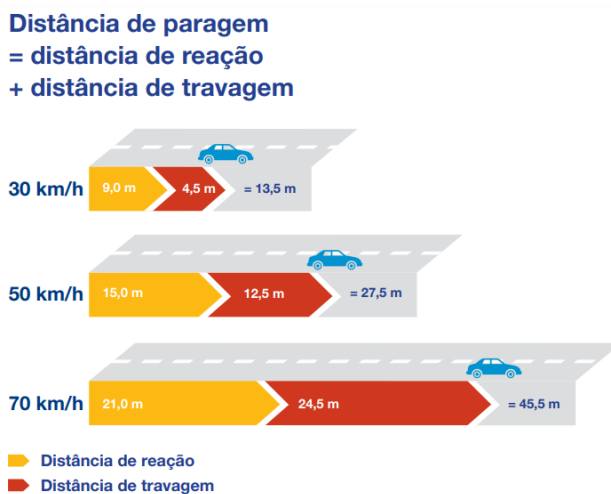


Fig.10- Relação entre velocidade de circulação e distância de paragem adaptado (Sécurité Routière)

Há evidências concretas de que velocidades de apenas 5 km/h acima da média de 60 km/h em diversas áreas urbanas, e 10 km/h acima da média em áreas rurais, são suficientes para dobrar o risco de acidentes fatais [27]. A necessidade de atuar no excesso de velocidade é evidente para que a segurança rodoviária seja melhorada.

2.4. CUSTO ECONÓMICO E SOCIAL

A sinistralidade rodoviária é uma adversidade dos tempos modernos, com enormes consequências a nível social e económico, uma fatalidade que afeta todos os países do mundo e um problema transversal

a todas as camadas sociais. Os acidentes rodoviários não só provocam significativos custos sociais e económicos como também provocam custos humanos, sendo que estes são particularmente importantes no caso das vítimas mortais e dos feridos graves.

Para quantificar os custos económicos e sociais da sinistralidade são necessários modelos conceptuais claros e objetivos e estatísticas detalhadas e objetivas sobre a exposição ao risco de um acidente, sobre a frequência e a severidade da sinistralidade rodoviária, desagregadas em múltiplas dimensões e tipologias de acidente [5].

Os acidentes de viação representam um pesado fardo, não apenas em economias globais e nacionais, mas também nas finanças domésticas. Muitas famílias entram na pobreza devido à perda de quem é o sustento da família ou devido ao custo adicional de cuidar de membros incapacitados por lesões de acidentes rodoviários.

Estima-se que os custos dos acidentes rodoviários correspondem 1% a 2% do Produto Interno Bruto (PIB) nos países de baixos e médios rendimentos e para os países de rendimentos elevados ascende a 2% do seu PIB [28]. Na Europa estes custos estão estimados em mais de 500 mil milhões de euros, cerca de 3% do PIB da União Europeia [5].

O custo socioeconómico dos acidentes rodoviários pode decompor-se em:

- Acidentes relacionados com a vítima:
 - Custos humanos: o valor das vidas humanas encurtadas ou permanentemente afetadas, a dor física e o abalo psíquico e emocional, a perda de qualidade de vida, danos na aparência física, etc.
 - Perda de produção: consequências permanentes ou temporárias na capacidade produtiva mercantil e não mercantil potencial dos lesados até ao fim da sua vida laboral
 - Custos médicos: custos de tratamento médico de vítimas de acidentes rodoviários (incluindo mortes que foram tratadas) em hospitais (ou outras instituições médicas), incluindo despesas em medicamentos e assistência temporária ou permanente, na sequência do acidente e no futuro.
- Relacionados com o acidente:
 - Danos na propriedade: custos com a reposição ou reparação dos veículos, das vias, dos edifícios, dos objetos fixos na estrada (semáforos, postes iluminação, barreiras, etc), da mercadoria transportada e dos bens pessoais afetados pelos acidentes rodoviários.
 - Custos administrativos: despesas com fretes de transportes, os custos com operações de policiamento, os custos com os serviços de emergência (e.g., corpos de bombeiros), despesas administrativas com seguros de veículos e seguros de saúde, despesas judiciais, custos com congestionamento de tráfego, despesas decorrentes da indisponibilidade do veículo, custos com serviços prisionais.

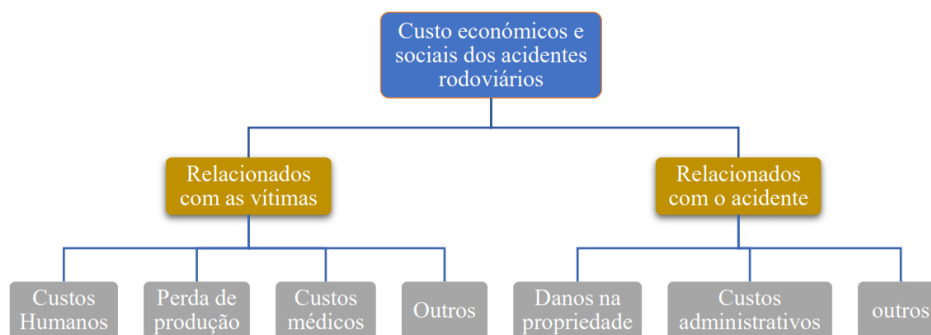


Fig.11- Componentes do custo económico e social dos acidentes de viação (ANSR 2021)

Em média [5], em 2019, um acidente com vítimas em Portugal tem um custo de 146 219 euros, onde são os feridos leves os maiores contribuintes, cerca de 41,3% do custo total. Neste mesmo ano, os acidentes de viação registados em Portugal tiveram um custo económico e social para o país estimado em 6 422,9 milhões de euros, um valor que representa 3,03% da riqueza obtida no país nesse ano. Os acidentes com vítimas registaram um custo total de 5 362,7 milhões de euros, onde a maior componente diz respeito aos custos humanos estimado em 3 471,1 milhões de euros, cerca de 1,63% do PIB, como está apresentado na figura 12. Em conjunto, os custos humanos e a perda de produção representam 91,5% do custo total dos acidentes de viação [5].

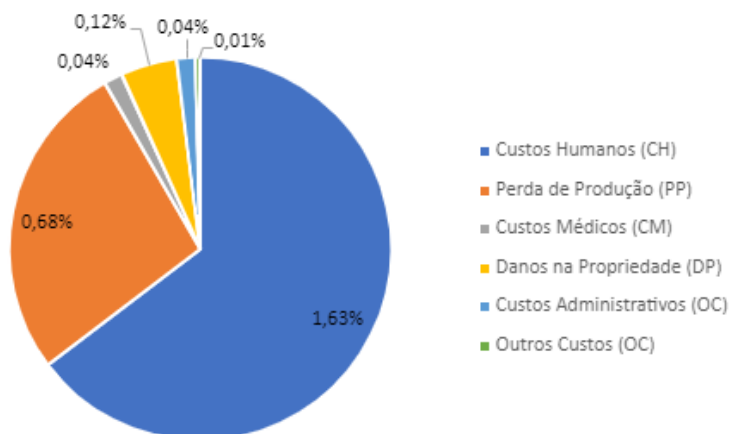


Fig.12- Repartição do custo económico e social total dos acidentes de viação, 2019, adaptado (ANSR 2021)

Os custos humanos são particularmente importantes no caso das vítimas mortais e dos feridos graves, pois causam um maior impacto nas famílias das vítimas mortais e nas próprias vidas dos feridos graves, deixando sequelas e criando certas incapacidades físicas e psicológicas. A estimativa do custo médio nos acidentes com pelo menos uma vítima mortal é superior a 3,4786 milhões de euros por acidente a preços de 2019. A justificação para este valor decorre da valorização da sociedade dos custos humanos associados à sinistralidade rodoviária, assim como da perda de produção decorrente da perda de uma vítima humana [5].

Os custos associados à perda de produção são particularmente elevados no caso dos feridos leves devido ao elevado número de dias/horas de trabalho perdidos, devido ao tempo de baixa em que se encontram e no caso dos feridos graves devido ao impacto prolongado na capacidade produtiva.

De acordo com o relatório emitido pelo CEGE - Centro de Estudos de Gestão do ISEG juntamente com a Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), em 2019, uma vítima mortal teve o custo médio de 3,055358 milhões de euros por fatalidade. A explicação deste valor deve-se sobretudo aos elevados custos humanos que uma fatalidade destas provoca nas famílias e amigos das vítimas, como está apresentado na figura 13. Enquanto o custo médio para a sociedade de um ferido grave é estimado em 530 828 euros por vítima e o custo médio de um ferido leve é estimado em 49 953 euros por vítima.

Componente do custo económico e social	Custo médio por tipo de vítima		
	VM	FG	FL
Custos Humanos (CH)	2 269,837	350,943	27,902
Perda de Produção (PP)	760,927	155,023	13,570
Custos Médicos (CM)	4,334	13,344	1,148
Danos na Propriedade (DP)	11,555	7,622	5,317
Custos Administrativos (CA)	5,067	3,483	1,497
Outros Custos (OC)	3,638	0,413	0,519
Total	3 055,358	530,828	49,953

Valores em milhares de euros referentes apenas aos acidentes com vítimas registados em 2019

Fig.13- Custo económico e social total dos acidentes de viação, 2019 (ANSR 2021)

Na sequência da análise do custo económico de um acidente, procedeu-se à determinação dos custos médios dos acidentes rodoviários por tipo de vítima para o ano de 2022, em Portugal. A obtenção destes valores teve por base o estudo de Donário e Santos (2012), o qual apresenta os custos económicos e sociais anuais dos acidentes rodoviários com cada tipo de vítima em Portugal, bem como os custos médios anuais dos acidentes rodoviários por tipo de vítima em Portugal, entre 1996 e 2010 (Anexos A1. Custos económicos e sociais anuais dos acidentes rodoviários em Portugal (1996-2010) e A2. Custos médios anuais dos acidentes rodoviários por tipo e vítima em Portugal (1996-2010)). Foram utilizados os valores correspondentes a 2019 apresentados pela Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR).

Abordando o método utilizado por João Sá na sua dissertação, estas estimativas foram obtidas multiplicando o salário mínimo (anual) em Portugal em 2022, por um valor que se distingue por tipo de vítima. Assim, para cada tipo de vítima, este valor é a média dos quocientes anuais entre o custo por tipo de vítima (identificados no estudo de Donário e Santos) e o salário mínimo, entre 1996 e 2010 e o ano de 2019.

Então, os custos médios obtidos em 2022 (Anexo A3. Estimação do custo médio dos acidentes rodoviários por tipo de vítima em Portugal (2022)) foram:

- 1.476.406,05€/vítima mortal;
- 218.791,27€/ferido grave;
- 46.216,90€/ferido leve

Os custos são dependentes da gravidade da(s) vítima(s) e não da natureza do acidente, estes serão mais elevados quando associados a atropelamentos de peões pois este tipo de acidente rodoviário provoca, geralmente, uma maior percentagem de vítimas por nº de acidente, comparativamente a acidentes de outra natureza [29]. Os atropelamentos são o tipo de acidente com o custo económico e social médio

mais elevado em termos unitários entre as diferentes categorias, com um valor estimado em 161 737 euros por acidente, como é apresentado na figura 14.

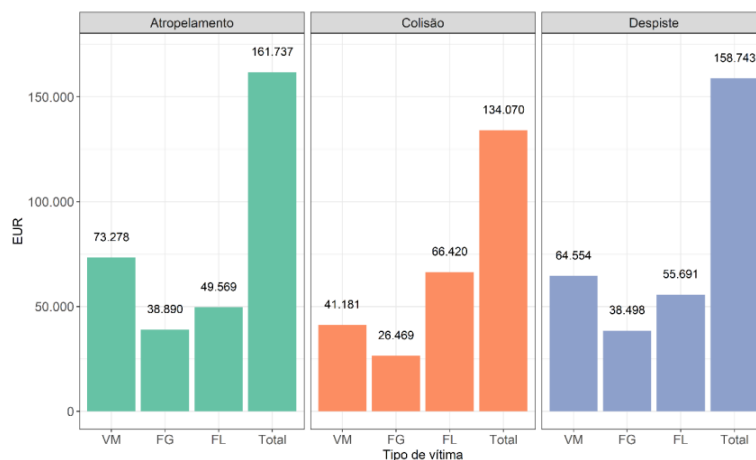


Fig.14- Estimativa do custo médio por acidente segundo a sua natureza, 2019 (ANSR 2021)

Avaliar os custos de acidentes e ferimentos na estrada contribui para ajudar a compreender a seriedade do problema, numa ótica de custo-benefício, e a necessidade de investir em medidas de prevenção rodoviária com o objetivo de melhorar a segurança rodoviária.

2.5. PROJETOS PARA MELHORAR A SINISTRALIDADE RODOVIÁRIA

2.5.1. DÉCADA DE AÇÃO PARA A SEGURANÇA RODOVIÁRIA 2021-2030

Em agosto de 2020, a Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU) aprovou a resolução 74/299 “Melhorando a segurança rodoviária global”. Assim foi anunciada a Década de Ação para a Segurança Rodoviária 2021-2030, onde o maior objetivo é prevenir pelo menos 50% de mortes e lesões no trânsito até 2030. A Organização Mundial de Saúde (OMS) e as comissões regionais da ONU, com o apoio de outros parceiros na Colaboração das Nações Unidas para a Segurança Rodoviária, idealizaram um Plano de Ação para a Década para consideração pelos Estados Membros e outras partes interessadas.

O Plano Global descreve o que é necessário para alcançar a meta e convoca governos e parceiros a implementarem uma abordagem de sistemas seguros integrada [7].

O documento recomenda algumas intervenções para prevenir traumas no trânsito e fornecer uma visão geral abrangente das ações para implementar e fortalecer os sistemas seguros, nomeadamente:

- Transporte multimodal e planeamento de uso de solo
- Infraestrutura viária segura
- Veículos seguros
- Uso seguro da via
- Resposta pós-sinistros

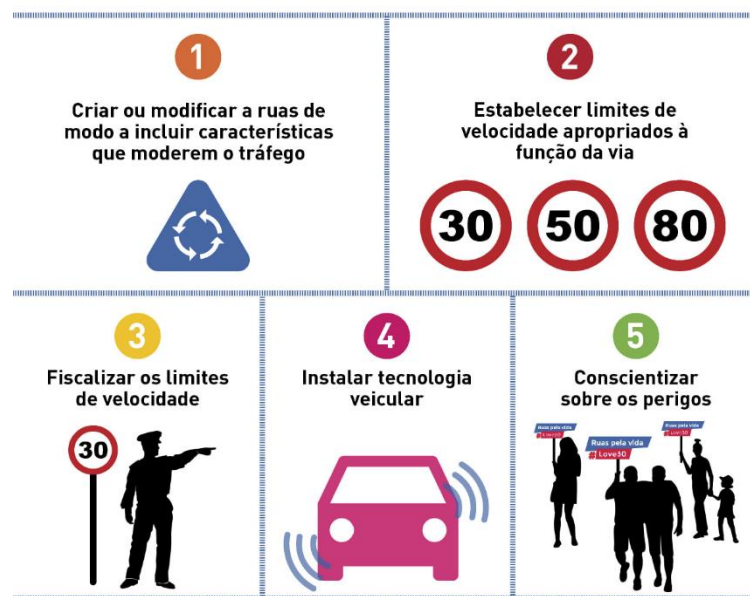


Fig.15- Medidas Década de Ação para a Segurança Rodoviária 2021-2030

Para que as medidas sejam mais eficazes, estas devem ser adaptadas aos contextos locais, recursos disponíveis e capacitação. A implementação do sistema seguro torna-se eficiente se cumprir requisitos como:

- Financiamento
- Gestão da velocidade
- Garantindo uma perspectiva de gênero no planeamento de transporte
- Adaptando tecnologias ao Sistema Seguro

Os planos nacionais devem definir a visão geral para a segurança no trânsito e os problemas específicos a serem enfrentados para alcançá-la. Com essa finalidade, os planos devem identificar prioridades de ação de curto, médio e longo prazo, reconhecendo que nem tudo pode ser feito imediatamente.

A Organização Mundial de Saúde com a participação dos Estados Membros e em colaboração com organizações do sistema das Nações Unidas adotaram metas de desempenho voluntárias para fatores de risco de segurança no trânsito e mecanismos de prestação de serviços [7]:

Meta 1: Até 2030, todos os países estabelecerem um plano de ação nacional multisetorial de segurança no trânsito abrangente, com metas e prazos determinados.

Meta 2: Até 2030, todos os países aderirem a um ou mais dos principais instrumentos jurídicos da ONU relacionados com a segurança no trânsito.

Meta 3: Até 2030, todas as novas vias com padrões técnicos que considerem a segurança no trânsito para todos os usuários da via, ou atinjam classificação de três estrelas ou mais.

Meta 4: Até 2030, mais de 75% dos deslocamentos serem em vias que atendam aos padrões técnicos que levam em conta a segurança no trânsito para todos os usuários.

Meta 5: Até 2030, 100% dos veículos novos (fabricados, vendidos ou importados) e usados atenderem a padrões de segurança de alta qualidade, como os regulamentos prioritários recomendados pela ONU, Regulamentos Técnicos Globais ou reconhecidos requisitos nacionais de desempenho equivalentes.

Meta 6: Até 2030, reduzir à metade a proporção de veículos circulando acima do limite de velocidade e reduzir as lesões e mortes relacionadas à velocidade.

Meta 7: Até 2030, aumentar a proporção de motociclistas que utilizam corretamente capacetes padronizados para cerca de 100%.

Meta 8: Até 2030, aumentar a proporção de ocupantes de veículos utilizando cintos de segurança ou sistemas padrão de retenção para crianças para cerca de 100%.

Meta 9: Até 2030, reduzir pela metade o número de lesões e mortes no trânsito relacionados a condutores que consomem álcool e/ou reduzir os casos relacionados a outras substâncias psicoativas.

Meta 10: Até 2030, todos os países com leis nacionais para restringir ou proibir o uso de telefones celulares ao dirigir.

Meta 11: Até 2030, todos os países com regulamentações promulgadas sobre tempo de direção e períodos de descanso para condutores profissionais e/ou aderir à regulamentação internacional/regional nesta área.

Meta 12: Até 2030, todos os países estabelecerem e alcançarem metas nacionais para minimizar o intervalo de tempo entre a ocorrência de um acidente e a atenção emergencial profissional.

O plano aposta na formação em primeiros socorros, a começar pelos motoristas profissionais, e também menciona claramente a educação e formação rodoviária como complemento de legislação e fiscalização [46].

2.5.2. VISÃO ZERO 2050

Em maio de 2018, a Comissão Europeia apresentou um novo conjunto de ações para modernizar o sistema de transportes na Europa. As medidas dizem respeito a áreas de mobilidade segura, limpa, conectada e automatizada [30]. A União Europeia tem como objetivo reduzir o número de mortes nas estradas em 50% entre 2020 e 2030, bem como reduzir o número de feridos graves em 50% no mesmo período. Sendo que o objetivo a longo prazo é aproximar de zero mortes e feridos graves até ao ano 2050- Visão Zero.

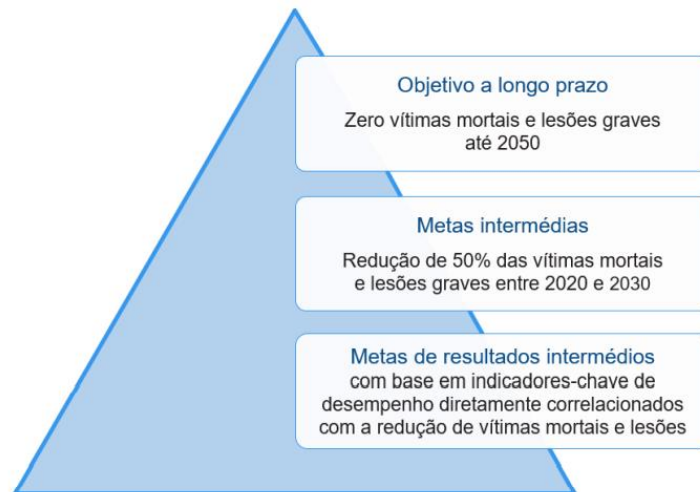


Fig.16- Hierarquia dos Resultados do Sistema Seguro a nível da UE, adaptado de (Comissão Europeia)

A Visão Zero é um conceito de segurança rodoviária com origem na Suécia e que se resume ao facto de não ser aceitável nenhuma vida perdida nas estradas. Graças à sua forte ambição de melhorar a segurança rodoviária, foi adotada a “Visão Zero” no Parlamento Sueco em outubro de 1997 [31]. A conceção e o funcionamento do sistema de transporte rodoviário devem ser adaptados aos requisitos resultantes do objetivo final de alcançar zero mortes e feridos graves nas estradas.

A Visão Zero baseia-se em quatro princípios fundamentais [32]:

1. A vida não é negociável: o direito à vida e à integridade física é um dos princípios fundamentais que a Visão Zero exige. Todas as partes do sistema devem ser reforçadas para multiplicar os seus efeitos; e se uma parte falhar os utentes da estrada continuam a estar protegidos.
2. Os seres humanos são falíveis: os erros no tráfego não podem ser totalmente evitados, mas nenhum deve ser tão grave ao ponto de exceder consequência aceitáveis pelo ser humano.
3. Limites toleráveis são definidos pela resistência física dos seres humanos: todo o sistema de transporte deve ser adaptado às necessidades humanas, e não o contrário. O corpo humano tem uma capacidade física limitada para tolerar forças de colisão antes de ocorrerem danos.
4. Os seres humanos têm o direito a um sistema de transporte seguro: denominada “responsabilidade compartilhada”, onde os utilizadores da via respeitam as leis e regulamentos, enquanto os projetistas do sistema devem garantir um sistema seguro.

Na análise de segurança rodoviária e estudos de colisão são possíveis duas abordagens:

- Abordagem tradicional: esforça-se por compreender todos os fatores envolvidos num acidente, onde no fim surgem formas de como o acidente podia ter sido evitado.
- Abordagem proativa: onde são considerados os acidentes que poderão potencialmente acontecer no futuro e identificar todas as formas possíveis de prevenir tais acidentes.

Em seguida, no quadro 1, são apresentadas as principais diferenças entre a visão tradicional e a visão zero [33]:

Quadro 1-Comparação entre Visão Tradicional e Visão Zero

Itens	Visão Tradicional	Visão Zero
Filosofia	Tentar evitar todos os acidentes	Impedir que os acidentes resultem em mortes e feridos graves
Objetivo pretendido	Reduzir o número de mortes e feridos graves	Zero mortes e ferimentos graves
Abordagens de planeamento	Reativo a incidentes	Orientar e tratar proativamente o risco
Causas do problema	Não conformidade dos utentes da estrada	A concepção do sistema como principal causa e sistema designers como responsáveis
Última responsabilidade	Utentes individuais da estrada	Responsabilidade partilhada por indivíduos com projetistas de sistemas
Método de trabalho do sistema	Intervenções isoladas	Combinação de diferentes elementos do sistema seguro para reforçar a proteção se uma parte falhar

A Visão Zero presume uma nova divisão de responsabilidade pela segurança do tráfego rodoviário dentro do sistema de transporte rodoviário. A responsabilidade para a segurança do tráfego rodoviário deve ser introduzida ao longo dos seguintes passos [34]:

1. Os projetistas do sistema são sempre os últimos responsáveis pela conceção, operações e utilização do sistema de transporte rodoviário, sendo assim responsáveis pelo nível de segurança dentro de todo o sistema.
2. Os utilizadores das estradas são responsáveis pelo cumprimento das regras de utilização do sistema de transporte rodoviário estabelecidas pelos projetistas do sistema.
3. Se os utentes da estrada não cumprirem estas regras devido à falta de conhecimento, aceitação ou capacidade, ou se ocorrerem ferimentos, os projetistas do sistema são obrigados a tomar as medidas adicionais necessárias para contrariar a morte e os ferimentos graves das pessoas.

O compromisso para com a Visão Zero adotará as seguintes estratégias [35]:

- Construir e manter a liderança, colaboração e responsabilização - especialmente entre um grupo diversificado de intervenientes para incluir profissionais de transportes, decisores políticos, funcionários da saúde pública, polícia, e membros da comunidade;
- Recolha, análise e utilização de dados para compreender as tendências e potenciais impactos desproporcionados das mortes no trânsito em certas populações;
- Privilegiar a equidade e o envolvimento da comunidade;
- Gerir a velocidade até níveis seguros;
- Estabelecer uma linha temporal para alcançar zero mortes e ferimentos graves no trânsito, o que traz urgência e responsabilidade, e assegurar a transparência sobre o progresso e os desafios

Nesta nova abordagem em conjunto com elementos de projeto, elementos de fiscalização e uma rede de medidas de segurança destinadas a abrandar o tráfego permitem reduzir os conflitos rodoviários. A Visão Zero tem contribuído para clarificar uma visão unificadora para encorajar ações de colaboração, mudar a cultura de segurança, remover obstáculos ao investimento em segurança, redefinir o que é e não é aceitável, e encorajando melhorias sistémicas e orientadas por dados na segurança rodoviária.

Por fim é necessário planear o uso do solo de modo a reduzir a dependência de veículos e promover formas de deslocamento mais seguros, saudáveis e que respeitem o meio ambiente.

2.5.3. VISÃO ZERO 2030- PORTUGAL

O combate à sinistralidade rodoviária e a nova Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária 2021-2030, definida pela Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, têm como objetivo assumir uma visão integral, assente numa estratégia abrangente de saúde pública e ligando a segurança rodoviária à mobilidade sustentável e à qualidade de vida [36].

A Visão Zero 2030 pretende fixar o horizonte de médio prazo da política de segurança rodoviária em Portugal e definir os objetivos estratégicos e operacionais correspondentes, a concretizar através de planos de ação bienais a iniciar em 2021 e abrangendo um período total de 10 anos [37].

O principal objetivo da Visão Zero 2030 é reduzir os feridos graves e mortes em 50% até 2030, juntamente com a visão zero e a abordagem de um “sistema seguro”.

No desenvolvimento da estratégia será garantido [38]:

- A qualidade técnica da estratégia e dos planos de ação;
- Uma elevada taxa de participação com grande diversidade de contributos;
- Envolvimento das principais entidades quer do setor público, quer do setor privado, e da sociedade civil;
- A inclusão dos desafios futuros e o alinhamento com outras políticas públicas;
- A credibilidade e exequibilidade.

Com base nas experiências do passado, identificaram-se alguns princípios para a Visão Zero 2030 e mais especificamente para os vários Planos de Ação [38]:

1. Adoção dos princípios do Sistema Seguro
2. Reforço das funções de gestão institucional
3. Compromisso explícito e responsabilização dos principais intervenientes
4. Intervenções baseadas em evidências
5. Intervenções consideradas credíveis e viáveis

O projeto Visão Zero 2030 divide-se em 3 fases:

Fase 1- Princípios Balizadores da Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária: Visão Zero 230

Inicialmente é efetuado um balanço da gestão da segurança rodoviária a nível nacional. É definida a abordagem da Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária para a década, em função das necessidades do nosso país, enquadrando os contextos políticos mundiais, europeus e nacionais com metas e compromissos assumidos. onde estão incluídos um conjunto de termos de referência estratégicos, tais como [39]:

- Quadro de pensamento do Sistema Seguro;

- Resultados da Declaração de Estocolmo;
- Década de Ação da ONU para Segurança Rodoviária 2021-2030;
- Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU;
- Documentos estratégicos da União Europeia, nomeadamente o EU Road Safety Policy Framework 2021-2030;
- Outros documentos europeus de referência

Este documento inclui um balanço do processo de conceção, desempenho e monitorização do PENSE 2020 (Plano Estratégico Nacional de Segurança Rodoviária), são apresentados os atuais dados de sinistralidade nacionais e é dada a conhecer uma nova abordagem da Segurança, onde o Sistema de Transporte Seguro será a base da nova Estratégia Nacional da Segurança Rodoviária. Por fim é apresentada a metodologia estabelecida para a elaboração da Visão Zero 2030 [39]:

Uma outra ação a realizar na Fase 1 é a disponibilização do microsite Visão Zero 2030 que será uma plataforma para receber e partilhar os contributos da população, assim como para a divulgação dos documentos elaborados.

Fase 2- Relatórios “técnico-científicos” para a nova estratégia

Nesta fase são apresentados os elementos-chave da Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária e a forma de os alcançar. Será aplicada a abordagem de revisão da capacidade de gestão da segurança rodoviária e a abordagem em evidências recomendada pelo Forum of European Road Safety Research Institutes (FERSI).

Diagnóstico e avaliação da situação atual

É realizada uma avaliação da situação atual da segurança rodoviária, com foco nas questões de segurança mais relevantes em Portugal e discussão de aspetos futuros. Ainda nesta fase estão previstas as seguintes atividades [40]:

- Revisão do quadro institucional da implementação da política de segurança rodoviária;
- Análise e diagnóstico da situação atual dos indicadores de segurança rodoviária, a sua evolução recente, principais tendências e benchmarking com outros países europeus;
- Análise da anterior Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária (PENSE2020), nomeadamente no que diz respeito às suas realizações e constrangimentos;
- Perspetiva do Sistema Seguro na segurança rodoviária em Portugal;
- Análise dos próximos desafios e mudanças. Por exemplo: alterações modos de viagem, mobilidade partilhada, impacto dos dispositivos de mobilidade e da mobilidade como um serviço (MAAS – Mobility As A Service), veículos conectados e automatizados, fatores externos, tais como tendências demográficas e económicas, e oportunidades e desafios de outras políticas públicas (por exemplo: desenvolvimento sustentável, alterações climáticas, e mobilidade);
- Análise das contribuições obtidas das entidades públicas e privadas e do Conselho Não-Executivo de Especialistas, e como considera-las na nova estratégia.

Bases para a Visão Zero 2030

Neste documento estão relatados os princípios base que integram o avanço das políticas de segurança rodoviária para os próximos dez anos, assim como as orientações científicas gerais e a metodologia para

o desenvolvimento da Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária. São tratados pontos importantes como [37]:

- Resumo das boas práticas para a definição dos objetivos estratégicos e operacionais e respetivos indicadores de desempenho;
- Identificação das intervenções com elevado custo-benefício das ao nível do Sistema Seguro;
- Identificação das áreas com potenciais resultados no sistema rodoviário português:
 1. Alinhamento com objetivos estratégicos internacionais;
 2. Objetivos específicos nacionais;
- Identificação de intervenções/medidas de segurança rodoviária viáveis:
 1. Definir objetivos;
 2. Especificar os componentes;
 3. Estimativa da contribuição para os objetivos e para as metas;
 4. Identificação de indicadores para medir o desempenho e para monitorizar a execução.

Metodologia de preparação dos planos de ação bienais

Neste relatório ainda não se encontra concluído, mas tem como foco apresentar a metodologia para implementação dos planos de ação bienais, onde estarão incluídos os procedimentos para sua realização, aprovação do orçamento e controle da execução. As suas principais atividades são [37]:

- Desenvolvimento de uma metodologia para a preparação dos planos de ação bienais, de acordo com a framework Plan Do Check Act.
- Piloto a uma ou duas intervenções:
 1. Caracterizar os objetivos e grau de intervenção;
 2. Definir os componentes de intervenção e a contribuição para os objetivos;
 3. Estimativa dos recursos humanos e financeiros necessários;
 4. Definir o processo de gestão e identificar parcerias e fontes de financiamento relevantes;
 5. Identificar as precedências e avaliar as prioridades;
 6. Especificar os procedimentos de controlo e avaliação da intervenção.

Fase 3- Estratégia Visão Zero 2030 e Plano de Ação 2021-2022

Esta fase ainda não se encontra iniciada, mas terá como objetivo efetuar uma avaliação da situação atual, com base nos Relatórios “técnico-científicos”, das bases e elementos-chave para a nova estratégia.

A versão final englobará os contributos da fase de consulta pública, da consulta direta às entidades e Stakeholders e do Conselho Não Executivo de Especialistas [37].

3

MEDIDAS DE MITIGAÇÃO

3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

As medidas de prevenção rodoviária têm como principal missão prevenir os acidentes e a redução das suas consequências, promovendo uma maior sensação de conforto e segurança aos utentes da via pública. A redução da sinistralidade rodoviária só será possível se houver uma verdadeira consciencialização do problema por parte de toda a sociedade e uma conjugação de esforços das diversas entidades, públicas e privadas, na aplicabilidade das políticas de segurança.

Na sociedade atual estão implementados comportamentos, atitudes e conhecimentos que levam a uma condução mais segura e consequentemente ajudam na prevenção de acidentes, tais como:

- Verificação das condições de segurança do veículo (estado dos pneus, travões, dispositivos de sinalização);
- Atenção com o transporte de crianças (nomeadamente a utilização de dispositivos de retenção adequados);
- Manter a distância de segurança em relação aos veículos da frente;
- Atenção às manobras perigosas que podem colocar em risco a vida dos condutores e dos peões.

Na medida em que a prevenção de acidentes rodoviários é necessária e urgente, a implementação de medidas para a segurança dos peões é uma prioridade no combate dos acidentes rodoviários. Assim sendo, existe um conjunto de medidas com elevada eficiência [41]:

- Reduzir a exposição dos peões ao tráfego de veículos: construção de passeios e ilhas de refúgio e implementação de medidas de restrição/ desvio de veículos;
- Reduzir a velocidade dos veículos: redução do limite de velocidade e implementação de medidas de gestão da velocidade em interseções;
- Melhorar a visibilidade entre peões e veículos motorizados: iluminação nas passareiras, instalar sinais que alertem os motoristas de que os peões estão a atravessar;
- Melhorar a consciencialização e o comportamento de peões e condutores: elaboração de leis sobre excesso de velocidade, direito de passagem do peão, etc;
- Melhorar o design de veículos para proteção de peões: fiscalização do cumprimento das leis e padrões de segurança de veículos para proteção de peões;
- Melhorar o atendimento dos peões feridos: organização de sistemas de atendimento pré-hospitalar ao trauma.

3.2. MEDIDAS IMPLEMENTADAS DE SISTEMAS DE REDUÇÃO DE VELOCIDADE

Nesta parte do capítulo serão abordadas algumas medidas já implementadas no trânsito de forma a melhorar a segurança rodoviária, nomeadamente de proteção aos peões.

Em relação à sinalização, seguem-se os diferentes exemplos:

- Zonas de coexistência (figura 17) especialmente concebida para a utilização partilhada por peões e veículos, onde vigoram regras especiais de trânsito. O limite de velocidade para os veículos é de 20km/h e o peão tem prevalência;



Fig.17- Zona residencial ou de coexistência

- Sinalização vertical nomeadamente de indicação de passagem para peões (passadeiras).

3.2.1. SINALIZAÇÃO NAS PASSADEIRAS

A sinalização de trânsito informa e orienta os usuários das vias de circulação. Não lhe compete corrigir as deficiências da via, nomeadamente de conceção e/ou construção, mas sim constitui um sistema de “comunicação” entre os utentes da via com as estradas. O respeito à sinalização garante um trânsito mais organizado e seguro para os condutores e peões.

As passagens para peões, constituem infraestruturas fundamentais, na medida em que permitem a continuidade e promovem a segurança dos percursos pedonais. No entanto, constituem áreas de conflito entre os peões e o tráfego motorizado, pelo que a localização das mesmas deve assegurar o equilíbrio entre o modo pedonal e o rodoviário, proporcionando segurança e funcionalidade [42]. A melhor estratégia de controlar o conflito existente entre os peões e o tráfego é a implementação de sinalização perto das passadeiras de forma a ser respeitada pelo peão e pelo condutor.

3.2.1.1. Sinalização não-luminosa

Os sinais de trânsito não luminosos relativos à passagem de peão são de dois tipos:

- Passagem para peões com fundo azul e uma forma quadrada, sendo este um sinal de informação que indica a existência de locais com passagem de peões (figura 18);
- Passagem para peões com fundo vermelho e uma forma triangular, sendo este um sinal de perigo que indica a existência ou a possibilidade de aparecimento de condições particularmente perigosas para o trânsito que imponham especial atenção e prudência ao condutor (figura 19).



Fig.18- Sinal de aproximação a uma passadeira



Fig.19- Sinal de perigo na chegada a uma passadeira

Um estudo realizado no Japão observou o comportamento dos veículos quando estes se aproximavam de passagens não- luminosas. Concluiu que o número de veículos que param para permitir que os peões atravessassem a rua era em média de apenas 30,6% em todo o país, apesar do facto de, de acordo com as leis de trânsito japonesas, os peões terem direito à passagem quando se trata de passadeiras [43].

Entre 4% e 30% dos condutores de veículos cedem a passagem aos peões quando não estão na presença de passagens não- luminosas [6]. Em condições normais e legais, a prioridade é do peão, ou seja, quando este demonstra que a sua intenção é atravessar a estrada, o condutor devia sempre ceder-lhe a passagem.

Uma solução possível para melhorar a segurança e facilidade nos atravessamentos passa por implementar ilhas de refúgio, onde o peão pode atravessar uma parte da estrada e esperar para que possa atravessar por completo.

Apesar das passadeiras serem sinalizadas e de todos conhecerem a sua funcionalidade, os condutores adotam uma tendência de desrespeito perante a sua presença, sendo necessário implementar sinalização luminosa. Com esta solução, os condutores sentem-se mais pressionados no cumprimento das regras de trânsito.

3.2.2. MELHORIA DE INTERSEÇÕES DA VIA

As interseções são pontos críticos da rede rodoviária, uma vez que são zonas de descontinuidade onde é possível modificar significativamente as circunstâncias de condução. Portanto, são locais singulares de uma possível melhoria da segurança rodoviária por intervenção da infraestrutura. No tratamento de

interseções de vias é, em algumas situações, necessário realizar alterações geométricas que envolvam um investimento significativo, mas trazem ganhos importantes para a segurança rodoviária. Alguns exemplos são rotundas, mini- rotundas e sinalização luminosa (semáforos).

3.2.2.1. Rotundas e mini-rotundas

Estas são colocadas no meio das interseções, obrigando os condutores a circular em torno delas. Assim os condutores mantem o seu nível de atenção elevada, levando a uma diminuição da velocidade de circulação e a redução de conflitos na interseção.

As minis rotundas apenas diferem na dimensão, sendo recorridas quando o espaço é reduzido e o volume de tráfego é compatível [29].

Ao nível da sinistralidade existe uma redução entre 40 e 70% com a implementação de rotundas. Também a gravidade dos acidentes é sofre uma redução significativamente por eliminação dos conflitos secantes [44].

3.2.2.2. Sinalização luminosa- semáforos

Para permitir a passagem dos peões nas passadeiras de forma mais segura é colocada de sinalização luminosa (semáforos), à entrada/ saída das passadeiras e na interseção das passagens de peões com a faixa de rodagem. Existem dois tipos de semáforos:

- 1) Semáforo para os pões: composto pela cor vermelha e verde, permitindo o atravessamento do peão ou não, respetivamente (figura 20)
- 2) Semáforo para os veículos: composto pela cor vermelha, amarela e verde. Na cor vermelha a passagem é proibida, na amarela é permitido avançar salvo se o veículo não estiver em condições de segurança para parar e a cor verde significa que é autorizada a passagem dos veículos (figura 21)



Fig.20- Sinalização luminosa para peões



Fig.21- Sinalização luminosa para veículos

A sinalização luminosa tem como função evitar conflitos entre os peões e os automóveis, mas para se verificar uma melhoria da segurança é necessário que tanto os peões como os condutores cumpram com a sinalização. Na Bélgica foi realizado um estudo em que é demonstrado que aproximadamente 21% dos peões não respeitam a sinalização luminosa [45]. Os botões de pressão e as marcações de zebra desgastadas aumentam a frequência das violações pois a impaciência e a má visibilidade das passadeiras levam a que o peão atravesse sem o semáforo estar verde.

Noutro estudo foram analisadas as características de atravessamentos ilegais em cruzamentos sinalizados e foram estabelecidos modelos de influência em cruzamentos ilegais de fatores baseados dados recolhidos por inquéritos e vídeos. Os resultados demonstram que cerca de 36,3% atravessam fora de uma passadeira em cada ciclo de sinal nas interseções, sendo que ocorre mais frequentemente do que atravessar num sinal vermelho (27%) [46]. A travessia em arco, como está apresentado na figura 22, tem uma probabilidade de 58% de ocorrer nas interseções sinalizadas, contribuindo para o aumento de risco de atropelamento.

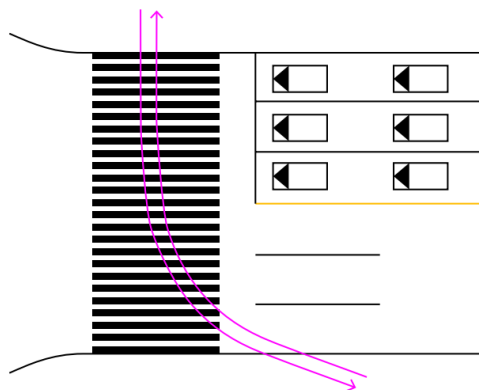


Fig.22- Passagem de peões fora de uma passadeira- percurso em arco

De entre os fatores significativos na travessia durante um sinal vermelho (idade, rendimentos, estar com pressa, volume de veículos e tempo de espera), o tempo de espera é o que provoca mais impacto, existindo a probabilidade de 53% dos peões atravessarem fora do sinal verde devido ao elevado tempo de espera [46].

No caso dos cruzamentos, os fatores que provocam um acidente de viação envolvendo a sinalização luminosa e os peões são [47]:

- Tempo de espera demasiado longo para o sinal verde
- Tempo de verde demasiado curto para os peões
- Movimento de viragem à esquerda ou à direita do veículo no permissivo modo verde colidindo com o tráfego de peões
- Movimento de viragem à direita com uso de seta verde condicional colidindo com o tráfego de peões

A aplicação de semáforos traz inúmeras vantagens para a segurança rodoviária, mas é necessário que o planeamento e sincronização da sinalização luminosa seja efetuada de forma que o risco de atropelamento seja reduzido e que proporcione mais conforto aos peões. Ao mesmo tempo é importante reforçar a educação sobre segurança no trânsito às pessoas e que estas cumpram o seu dever enquanto peões.

3.2.3. ALTERAÇÕES NOS ALINHAMENTOS HORIZONTAIS

As alterações nos alinhamentos horizontais compreendem todas as medidas que obrigam todos os condutores a mudar a sua trajetória em planta, conforme as limitações de curva contra curva [48]. Normalmente recorre-se à colocação de elementos/ obstáculos na faixa de rodagem forçando o condutor a reduzir a velocidade para que os possa contornar em segurança. Implicam uma alteração da geometria convencional das vias e são indicadas para zonas residenciais, centrais e vias de atravessamento de povoações [49].

As medidas mais utilizadas são as chicanes, os estrangulamentos e o estreitamento das entradas das interseções

3.2.3.1. Chicanes

O conceito de chicanes consiste em aumentar a largura do passeio, colocando obstáculos nas bermas da rua (tais como caixas de vegetação) e estreitando a via, de forma alternada, alterando os alinhamentos do eixo da estrada, como é possível verificar na figura 23. Esta alteração obriga os condutores a fazer as curvas opostas sucessivas, implicando assim uma diminuição da sua velocidade e aumentando a sua atenção na estrada.

Nos casos em que existem duas vias com sentidos opostos, é necessário verificar se a intensidade de tráfego nos dois sentidos é semelhante. Se esta não se verificar haverá uma tendência para os condutores recorrerem a trajetórias diretas, invadindo a via contrária e evitando o obstáculo [50]. A eficácia desta alteração fica comprometida. Para evitar esta situação recorre-se à implantação de ilhéus separadores no centro da faixa de rodagem, como é apresentado na figura 24.

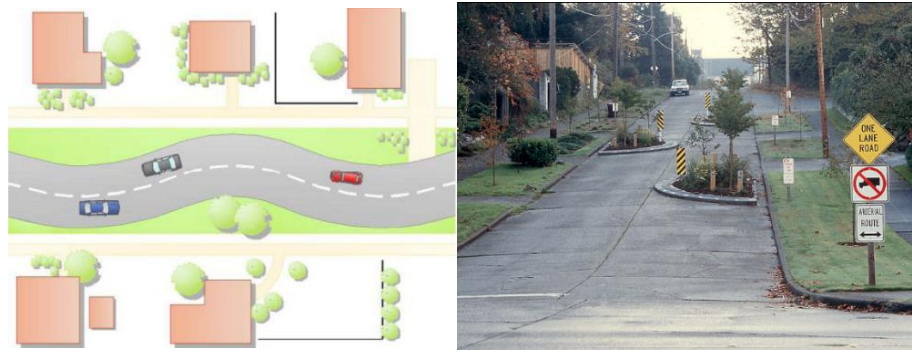


Fig.23- Chicane por recurso a curvas e contra-curvas

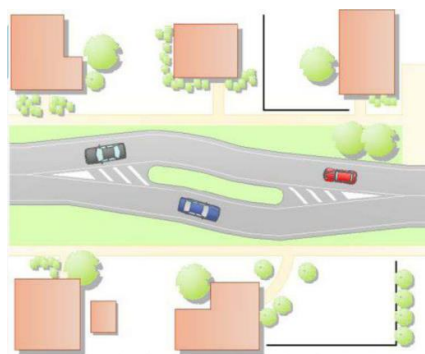


Fig.24- Chicane com ilhéu separador

3.2.3.2. Estrangulamentos

Os estrangulamentos consistem na redução da faixa de rodagem, pela modificação do perfil transversal de uma seção da via. Enquanto nas chicanes, o estreitamento da via era feito de forma alternada, nos estrangulamentos a redução acontece nos dois lados em simultâneo, como apresentado na figura 25. Podem ocorrer através do alargamento dos passeios, de espaços verdes existentes na vizinhança da faixa de rodagem ou pela criação de estacionamentos. Existem também estrangulamentos a partir do centro que requerem a construção de uma ilha, muitas vezes utilizada como uma ilha de refúgio para os peões, podendo realizar a travessia em duas fases, como é possível observar na figura 26.

Ao nível dos atravessamentos é uma solução com efeitos positivos, na medida que reduz a distância de atravessamento para os peões [51], como se pode verificar na figura 27.

Os estrangulamentos reduzem a velocidade dos veículos entre 42 e 46% [52]. Com a diminuição da velocidade é esperado que a atenção por condutor aumente e assim ocorra uma melhoria na segurança rodoviária.

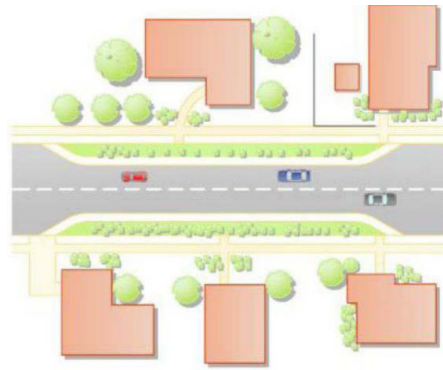


Fig.25- Esquema de um estrangulamento a partir dos lados



Fig.26- Estrangulamento da via com recurso a ilha de refúgio



Fig.27- Estrangulamento com redução da distância de travessia para peões

3.2.3.3. Estreitamento junto às entradas de interseções

Os estreitamentos nas interseções consistem em alargamentos impostos aos passeios no interior do cruzamento de forma a reduzir o raio de viragem (figura 28) e, conseqüentemente a velocidade de viragem [48]. O tempo de exposição do peão também é reduzido, uma vez que ocorre uma diminuição do comprimento de travessia. Assim existe uma melhoria dos níveis de visibilidade associados aos peões, o que corresponde a um aumento da segurança.

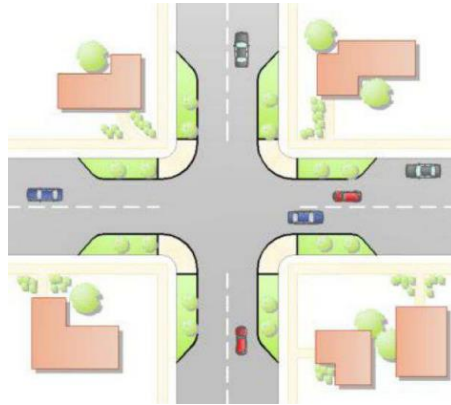


Fig.28- Esquema de estreitamento junto a entradas de interseções

3.2.4. ALTERAÇÕES NOS ALINHAMENTOS VERTICAIS

As alterações nos alinhamentos verticais englobam todas as medidas que implicam a alteração da cota do pavimento ou a criação de rugosidades [49]. A finalidade destas medidas é obrigar os condutores a reduzir a velocidade, com o intuito de evitarem danos nos seus veículos ou níveis de desconforto elevados.

3.2.4.1. Pré- avisos sonoros

Os pré-avisos (figura 29) consistem na repetição de linhas transversais colocadas numa ou várias vias no sentido do trânsito. Podem ser de dois tipos: bandas sonoras ou bandas cromáticas. O que as distingue é que nas bandas sonoras a espessura da tinta é maior. O objetivo destas é alertar o condutor para a necessidade de moderar a velocidade de circulação [49]. Normalmente são colocadas antes da passagem de peões.



Fig.29- Pré-avisos (Google Maps)

3.2.4.2. Lombas redutoras de velocidade

As lombas redutoras de velocidade (LRV) são uma das medidas de acalmia de tráfego rodoviária mais destacadas e utilizadas pois são uma solução eficaz e de baixo custo ao nível da redução de velocidade.

Em termos de conceito, são descritas como uma deformação do pavimento, em que a cota da superfície é elevada, sendo colocadas transversalmente à faixa de rodagem, como é apresentado na figura 30.

Segundo o Instituto de Infra- Estruturas Rodoviárias, as LRV ajudam a reduzir os acidentes rodoviários até 41% [48].

A sua principal função é reduzir a velocidade, mas também contribuem para a redução dos volumes de tráfego, através do desvio de tráfego para outros percursos.



Fig.30- Lomba redutora de velocidade

3.2.4.2. Passagens pedonais elevadas

As passagens elevadas para peões são lombas alongadas com uma forma trapezoidal, sendo na parte superior, plana e projetada para a passagem de peões. A implementação destas passagens tem como objetivos facilitar os atravessamentos pedonais através do nivelamento em relação aos passeios (figura 31), realçando a presença de peões e consequentemente a necessidade de o condutor reduzir a velocidade de circulação. Esta passagem também está associada ao atravessamento de ciclista.

De acordo com o Instituto de Infra- Estruturas Rodoviárias, espera-se que ocorra uma redução de velocidade de circulação até 18% e o número de acidentes sofra uma redução até 18% [48].

Esta medida apresenta vantagens como a redução da velocidade de circulação do tráfego, aumenta a visibilidade dos peões para os condutores, aumentando a assim a segurança dos mesmos.



Fig.31- Passagem pedonal elevada (Google Maps)

3.2.5. PASSADEIRAS 3D

Os atropelamentos nas passadeiras continuam a ser uma grande preocupação para os responsáveis pela segurança rodoviária em todo mundo. Assim sendo as passadeiras 3D foram criadas para melhorar a segurança dos peões ao atravessar a estrada.

As passadeiras 3D são pintadas no pavimento rodoviário com sombras com o intuito de criar um efeito visual que “engane” opticamente os condutores [53]. A percepção é que cada linha flutua no ar e o peão caminha sobre elas. Em relação à sensação tridimensional, cada linha de passadeira parece um bloco de volume. Esta ilusão ótica surpreende os condutores, obrigando-os a reduzir a velocidade e captando a atenção para com os peões. Esta medida apresenta outra vantagem, nomeadamente maior efeito antirreflexo e antideslizante. Para além de beneficiar os peões, também beneficia os condutores pois a probabilidade de ocorrerem incidentes por deslizamento é menor.

Em Portugal, esta medida está implementada em várias localidades, como por exemplo na Maia e em Cascais (figura 32). Alguns países como Dinamarca e Islândia substituíram as lombas redutoras de velocidade por passadeiras 3D (figura 33).



Fig.32- Passadeira 3D em Cascais



Fig.33- Passadeira 3D na Islândia

3.3. ILUMINAÇÃO

A iluminação é um elemento de cidadania essencial para a qualidade de vida dos meios urbanos. A colocação de iluminação ao longo das estradas é um enorme benefício em termos de segurança não só para os condutores como também para os peões.

A presença de iluminação na estrada traz variadas vantagens para todos os condutores:

- Ajuda o condutor na detecção de perigos nas vias de circulação, como acidentes que ocorram e não estejam bem sinalizados, bem como a presença de animais a atravessar a estrada. Desta forma melhora as condições de visibilidade permitindo que o condutor aja mais rápido
- Aumenta a segurança do condutor pela maior percepção trazida pela presença de luz, aumentando a velocidade, infringindo por vezes as regras de circulação dos veículos e diminuindo os níveis de concentração que permitam a detecção de perigos nas estradas

De acordo com o Manual de Avaliação Económica, 35% dos acidentes rodoviários noturnos são causados devido à má iluminação nas áreas urbanas [54]. A probabilidade de acontecerem acidentes durante a noite é até 50% maior, quando comparada com os de dia, e a taxa de mortalidade rodoviária noturna por distância percorrida é cerca de três vezes a taxa diurna [55].

Segundo o Parlamento Europeu, 55% dos acidentes mortais ocorrem em estradas rurais [56]. Uma vez que nestas, o tráfego rodoviário não é considerado elevado, não se verifica a existência de iluminação. Está provado que a presença de iluminação em cruzamentos rodoviários é essencial, pois reduz a taxa de colisão noturna aproximadamente em 12% comparada a cruzamentos rodoviários não iluminados [57].

Foram realizados vários estudos em vários países como Estados Unidos da América, Dinamarca e Israel, onde foi possível comprovar que os resultados são consistentes e que a iluminação das estradas reduz acidentes noturnos envolvendo peões em cerca de 45% [58]. Desta forma, a ausência de iluminação das estradas nomeadamente junto às passadeiras é considerada um dos principais fatores associados à ocorrência de atropelamentos.

Não existe uma relação bem estabelecida com parâmetros de iluminação a partir dos quais se possa deduzir níveis de referência de iluminação para a segurança rodoviária [59]. Assim não existem níveis de iluminação regulamentos que permitam a redução do número de acidentes noturnos nas passadeiras. Adicionalmente, a incidência desta iluminação deve, não só, estar direcionada para a área de atravessamento, como também para parte do passeio, onde os peões esperam pela oportunidade de atravessar a estrada [29].

Outro aspeto importante é a quantidade de luz. O que facto de existir iluminação nas estradas e/ou passadeiras não significa que esta seja suficiente para aumentar a visibilidade do condutor. Um estudo da Nova Zelândia encontrou uma redução de 19% nos acidentes após a escuridão (em todos os tipos de acidentes comunicados) para cada aumento de 0,5 cd/m² na luminosidade média [59].

Em suma, um dos motivos dos acidentes, principalmente em casos de pouca visibilidade à noite, é o fraco destaque do peão, devido à má iluminação da passadeira ou da zona do passeio onde o peão fica à espera. Com a má iluminação, o tempo de reação aumenta e a pessoa move-se mais lentamente comparativamente a um espaço iluminado. Assim é recomendado a implantação de medidas para melhorar a iluminação.

3.4. MEDIDAS INOVADORAS DE SISTEMAS DE REDUÇÃO DE VELOCIDADE

Os sistemas que recolhem e armazenem energia são uma das medidas desenvolvidas a nível internacional. Assim sendo, existem dois tipos de fonte de energia: a luz solar ou a energia mecânica produzida pela passagem do veículo sobre o sistema. Quando comparado os dois sistemas, utilizar a luz solar como fonte de energia é uma forma mais avançada e mais utilizada que os sistemas que usam a

energia mecânica dos veículos. Sendo que esta tecnologia apresenta maior potencial em relação à eficiência de conversão e geração de energia e condições de adaptabilidade ao pavimento das estradas [60].

A forma mais eficiente de captar energia solar é através de painéis fotovoltaicos. Porém estes necessitam de uma superfície transparente que permita a entrada de sol e geralmente os materiais transparentes não são materiais duráveis. Além disso, esses materiais condicionam a aderência do veículo e consequentemente a segurança rodoviária.

Relativamente aos sistemas que utilizam a energia mecânica dos veículos como fonte de energia, são utilizados sistemas eletromecânicos que recolhem a energia mecânica dos veículos e através de geradores eletromagnéticos, geram energia elétrica [60].

Seguem-se alguns exemplos de pavimentos fotovoltaicos:

Painéis fotovoltaicos da Solar Innova

É uma solução constituída por uma gama de vidros tecnológicos que têm a propriedade de gerar energia elétrica através do movimento dos utilizadores da estrada. A frente do pavimento contém um vidro solar temperado com alta transmissividade, baixa refletividade e baixo teor em ferro (figura 34).

O pavimento cumpre todos os requisitos de segurança, nomeadamente à flexibilidade, isolamento duplo e elevada resistência aos raios UV. Apresenta uma durabilidade muito longa pois não possuem elementos que se degradem devido às condições climáticas e/ou ambientais [61].



Fig.34- Painéis fotovoltaicos da Solar Innova

Piso fotovoltaico caminhável

A empresa Onxy Solar lançou no mercado o piso fotovoltaico caminhável e antiderrapante (figura 35). Esta solução oferece eficiência semelhante a outras soluções de construção. Pode ser retroliminada com luzes LED, alimentadas pela energia gerada pelo próprio solo [62]. O piso fotovoltaico permite gerar energia elétrica e ao mesmo tempo é totalmente caminhável, permitindo a otimização do espaço.

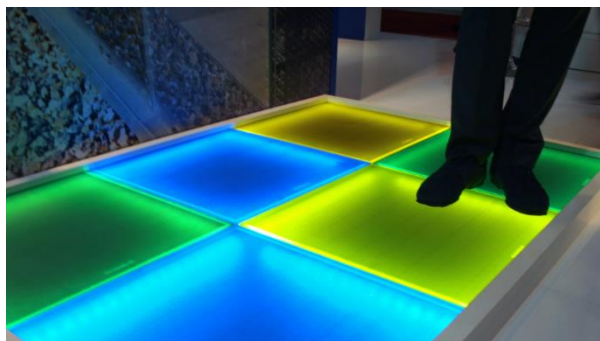


Fig.35- Piso fotovoltaico caminhável da Onxy Solar

Platio Solar

A startup húngara Platio apresenta um pavimento feito de plástico reciclado, que conta com painéis fotovoltaicos, como é apresentado na figura 36, que geram energia solar. As células solares de alto desempenho recolhem a energia solar irradiada para a superfície [63]. Estas são protegidas por painéis de vidro resistentes. O piso é o mais antiderrapante disponível no mercado e a sua manutenção é simples em comparação aos painéis solares que são montados nos telhados. A base do produto é feita a partir de resíduos que não podem ser reciclados por outros métodos, e não são utilizados novos materiais plásticos para o seu fabrico.



Fig.36- Platio Solar

Em seguida é apresentado um exemplo de pavimento com sistema eletromecânico com geradores eletromagnéticos:

Lybra

A empresa italiana Underground Power criou um pavimento de borracha que converte a energia cinética produzida pelos veículos em movimento em energia elétrica. Este produto é considerado um “absorvente de velocidade” inteligente pois enquanto o carro reduz de velocidade a energia mecânica é transformada em energia elétrica (figura 37).

A eletricidade produzida é aproveitada para a iluminação de ruas ou para recarregar os veículos elétricos. Existe a possibilidade de vender energia à rede, utilizando um inversor [64].



Fig.37- Lybra da Underground Power

São apresentados exemplos de pavimentos com sistemas eletromecânicos sem gerar e armazenar energia:

Tope Inteligente

O Tope Inteligente é um sistema inovador da empresa Inteligencia Vial. Esta solução é uma lombada redutora de velocidade inteligente. Contém sensores que detetam a que velocidade o veículo circula e atua conforme a velocidade. Quando o veículo ultrapassa a velocidade estabelecida é ativada, mantendo-se elevada (figura 38), baixando apenas para os veículos com velocidades reduzidas (figura 39). Os sensores detetam a velocidade ao longo do caminho até chegar à lombada e não apenas uns metros antes, verificando assim se o condutor respeita os limites de velocidade [65].



Fig.38- Tope Inteligente quando os veículos excedem os limites de velocidade



Fig.39- Tope Inteligente quando os veículos circulam a velocidades legais

Actibump

O sistema Actibump é uma solução de tráfego inteligente, constituído por um radar e uma lomba invertida. O radar do sistema Actibump mede a velocidade de um veículo que se aproxima da lomba. A presença do sistema é comunicada com antecedência por sinais de trânsito (figura 40) e marcas rodoviárias, de forma que os condutores tenham tempo para verificar a sua velocidade e ajustá-la, se necessário. Se o condutor estiver dentro do limite de velocidade, a superfície da estrada continua plana e o veículo passa por cima da lomba sem acontecer nada. Se se verificar uma velocidade elevada, o sistema é acionado, causando uma depressão na superfície da estrada (figura 41). Desta forma, o sistema provoca um alerta ao condutor para este diminuir a velocidade.

Os veículos de emergência são reconhecidos, podendo ultrapassar as velocidades e não ativando o sistema. Com este sistema, a velocidade é reduzida até 80%, tornando as estradas mais seguras e reduzindo o número de vítimas causadas por excesso de velocidade [66].



Fig.40- Sinal de advertência de uma lomba



Fig.41- Actibump

A seguir é realizada uma análise de medidas inovadoras, sendo estas os produtos mais recentes no mercado internacional ao nível da segurança rodoviária, sustentabilidade, gestão de tráfego e infraestruturas inteligentes.

APL Systems

A empresa italiana Detas Power (D-Power) apresenta uma solução de passagens pedonais com base em diferentes tipos de ambientes e fontes. Esta solução consiste em colocar sensores à entrada das passadeiras, detetando a presença dos peões e iluminando, com luzes LED, a passadeira de forma a estes serem mais visível nas passadeiras perante os condutores (figura 42). O sistema é ativado por botão ou por sensor. Com o escurecimento inteligente, de noite o sistema permanece ligado apenas a 40% e quando ativado o nível de iluminação passa para 100% [67].

No mercado existem duas opções deste sistema: APL Smart e APL Solar, sendo que neste o sistema de sinalização e iluminação é alimentado por energia solar com recurso a painéis solares.



Fig.42- APL Systems

Paso Peatonal Inteligente 2.0

O produto mais recente da empresa espanhola STS Systems é instalado no solo alinhado transversalmente ao caminho do peão (figura 43). A sua tarefa é auxiliar e completar a informação dos semáforos, sincronizando-se com eles [68]. O Paso Peatonal Inteligente 2.0 foi concebido para os peões

que enquanto caminham estão a olhar para o chão ou para o telemóvel. Assim este sistema ajuda a perceber os peões se estes têm ou não direito à passagem.

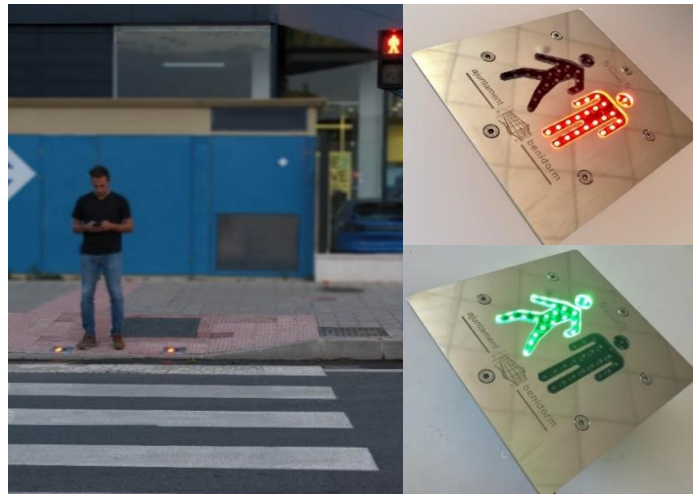


Fig.43- Paso Peatonal Inteligente 2.0

Paso de Peatones Inteligente

A empresa espanhola PROINova apresenta um conjunto de soluções, inseridas no projeto Paso de Peatones Inteligente. A principal função é reforçar a sinalização horizontal e vertical das passadeiras, avisando os condutores com antecedência da presença de um peão na passagem ou com a intenção de atravessar [69]. Estas passagens inteligentes para peões são constituídas por diferentes elementos, tais como:

- Detetores: dispositivo capaz de detectar a presença de peões através de um sensor, com a possibilidade de detectar a grandes distâncias.
- Sinais luminosos LED na passadeira: o sinal acende-se numa sequência repetitiva e por ordem, aumentando a atenção do condutor.
- Iluminação com LED embutido: lâmpada alimentada por um painel solar, reforçando visualmente as zonas de perigo e com o intuito de orientar o condutor, devido a distração ou falta de visibilidade (figura 44)
- Semáforos horizontais: tiras horizontais de LED que são instaladas no solo, à entrada da passadeira e iluminam ao mesmo tempo que os semáforos verticais (figura 45).



Fig.44- Iluminação embutida com LED do sistema Paso de Peatones Inteligente



Fig.45- Semáforos horizontais do sistema Paso de Peatones Inteligente

Postes de Sinalização de Trânsito

A nova geração de postes de sinalização de tráfego, da empresa turca Ekaldes, são de alumínio e equipados com LED, como é apresentado na figura 46 [70]. Estes são visíveis de longe, o que leva a uma redução de incumprimento das regras de trânsito. Proporcionam o trânsito mais seguro para peões e condutores e os acidentes são reduzidos.



Fig.46- Postes de sinalização de trânsito Ekaldes

Smart Cross Walk

O sistema Smart Cross Walk foi desenvolvido pela empresa portuguesa Omniflow juntamente com a Siemens. Este sistema tem como função aumentar a segurança dos peões em áreas problemáticas devido ao elevado tráfego. Consiste num poste inteligente alimentado por vento e sol e numa passadeira que deteta os peões com sensores incorporados, onde simultaneamente é ativado todo o brilho do posto, da estrada e da iluminação do sinal para que o peão seja perfeitamente visível (figura 47).

Futuramente, utilizando uma tecnologia própria V2X, a solução será capaz de desacelerar ativamente os carros na presença de peões e fornecer mais segurança [71].



Fig.47- Sistema Smart Cross Walk

Soluções de iluminação em passadeiras

A empresa portuguesa SERNIS apresenta duas soluções inovadoras de iluminação em passadeiras [72]:

- SR-CROSSLED-L foi desenvolvido para ser instalado em ambos os lados da estrada entre a calçada e a faixa de peões. Muda de vermelho para verde - de acordo com os semáforos de passagem de peões -, alertando os peões se é seguro atravessar a rua ou não (figura 48).
- SR-CROSSLED-S foi desenvolvido para ser instalado em todos os topos das linhas brancas da faixa de rodagem, criando uma iluminação homogênea da passadeira (figura 49).

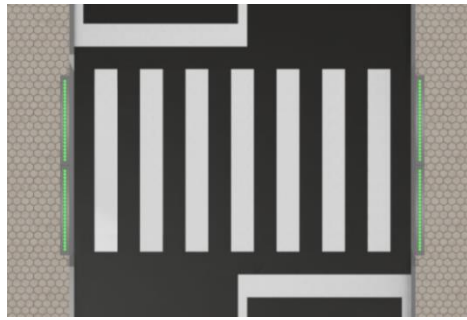


Fig.48- SR-CROSSLED-L



Fig.49- SR-CROSSLED-S

Flowell

A empresa Colas tem a seu auxílio a Aximum, que desenvolveu o sistema Flowell. Consiste em instalar nas estradas existentes um sistema de sinalização luminosa, ao longo das passadeiras (figura 50). O objetivo é responder a novas formas de utilização das estradas pelas pessoas para acomodar qualquer tipo de mobilidade. Flowell torna as passadeiras mais seguras e a iluminação das faixas brancas melhora a visibilidade [73].



Fig.50- Flowell da Amixum

As medidas apresentadas conferem maior segurança aos peões de várias maneiras, melhorando a iluminação nas passadeiras e na via, colocando sensores que detetem a entrada dos peões nas passadeiras e reforçando a atenção dos peões colocando luzes LED sincronizadas com o semáforo de peões. Por

outro lado, as novas medidas conseguem captar a atenção dos condutores iluminando os postes dos semáforos e colocando iluminação nas faixas brancas das passadeiras.

A medida que se aproxima mais do sistema inovador da Paynext é a Smart Cross Walk da Omniflow, porém ainda não é utilizada a tecnologia que reduza a velocidade dos carros na presença de peões.

Posteriormente será realizada uma análise comparativa de todas as medidas inovadoras de forma a verificar a sua eficiência, comparando-as ao sistema PEH.

4

O SISTEMA DE PEH

4.1. SISTEMA DE PAVEMENT ENERGY HARVESTING

O sistema PEH foi concebido com a intenção de evoluir nas medidas de mitigação, sendo o seu nível de eficácia mais elevado que as existentes. No que toca à sustentabilidade ambiental e económica, a solução apresenta bons resultados.

A empresa Pavnext desenvolveu o sistema *Pavement Energy Harvesting* (figura 51) constituído por um dispositivo inovador que é implementado em seções imediatamente antes das passadeiras, na superfície do pavimento rodoviário. A sua principal função é captar a energia cinética do veículo, levando a uma redução da velocidade dos carros de forma autónoma, sem nenhuma ação por parte do condutor, sem causar impacto no veículo e sem afetar o conforto dos ocupantes do veículo. Em seguida, essa energia captada dos veículos é convertida em energia elétrica com uma elevada eficiência de conversão, pela mesma tecnologia que capta a energia cinética. A energia elétrica é depois armazenada, fora do pavimento, para posteriormente ser utilizada em diversas aplicações, como por exemplo para alimentar outros dispositivos de segurança ou carregar carros/bicicletas elétricas. Durante o processo de recolha e conversão de energia, o sistema monitoriza o tráfego rodoviário diário, a energia produzida, o peso e a velocidade do veículo.



Fig.51- Sistema *Pavement Energy Harvesting*

A energia gerada pelo dispositivo é aproveitada para alimentar a segunda tecnologia da Pavnext, uma solução para implementar na passadeira. Esta solução permite detetar o movimento do peão (figura 52) e se este estiver a entrar na passadeira, acender um conjunto de iluminação LED no pavimento, com início no local onde o peão está a entrar em direção ao local onde irá sair. A melhoria na iluminação

permite avisar os condutores dos veículos da presença de um peão e que este está a atravessar a passadeira de um lado para o outro.



Fig.52- Sensor de deteção de peões

O sistema inovador, com uma extensão máxima de 20 metros, é aplicado na camada superior do pavimento rodoviário numa caixa de betão, de maneira que este não se encontre diretamente em contacto com o solo. Deste modo espera-se facilitar a drenagem e obter a posição correta dos módulos. Este equipamento é composto por diversos módulos, como é apresentado na figura 53, colocados ao longo dos 20 metros de extensão (no máximo). Assim a sua substituição, quando é necessária, é mais fácil. A secção central da caixa de betão, designada de corredor central é um espaço definido para a passagem de cabos que sejam necessários para a geração e recolha de dados e energia. Este corredor também é o local apropriado para a passagem dos motociclos sobre o sistema. No local estão instalados sensores e outros elementos eletrónicos que permitem recolher informações alusivas ao tráfego e monitorizar o sistema à distância [74]. Fora do pavimento, está instalada uma caixa de energia ligada ao dispositivo que recebe e armazena a energia e dados produzidos.



Fig.53- Dispositivo com módulos

Este sistema, ao contrário das lombas redutoras de velocidade, não gera ruído, sendo um fator positivo para as pessoas que moram perto do local de aplicação. No que respeita à sua eficácia, numa aplicação de 20 metros de comprimento, é possível reduzir cerca de 40% a velocidade de um veículo, sem considerar que o condutor desacelera ou trava. O que significa que se o veículo circular a 50 km/h reduz a sua velocidade para 30 km/h, depois de atravessar o sistema. Desta forma, a tecnologia aumenta a segurança nas passadeiras em 60%.

O consumo de energia da rede sofrerá uma diminuição em 85% pois o sistema é capaz de produzir energia elétrica limpa e ajustar o consumo às necessidades reais do local, por exemplo ajustando a

iluminação ao tráfego em tempo real. As emissões de CO₂ do local, relativas ao consumo energético do mesmo, serão reduzidas em cerca de 90%.

A solução da Pavnext é a única que combina uma solução eficaz de segurança rodoviária, geração de energia elétrica limpa e dados inteligentes para otimizar vários recursos. Em seguida, no quadro 2 é apresentado um resumo com as características que o sistema PEH oferece.

Quadro 2- Resumo das características do sistema PEH

Tecnologia	Eletromecânica	
Capacidade instalada	2000 W7m ²	
Eficiência de conversão	60%	
Geração eletricidade	684J/veículo/m	
Redução da velocidade sem ação do condutor	Sim	
Geração de energia renovável (independente das condições climáticas)	Sim	
Armazenamento de energia gerada	Sim	
Deteção de peões	Sim	
Monitorização de dados de tráfego	Sim	
Sistema Inteligente	Sim	
Emissão de som de alerta	Não	
Aplicação da energia para mobilidade elétrica	Sim	
Aplicação da energia para iluminação pública	Sim	
Aplicação da energia para injeção na rede	Sim	

Utilização de painéis solares	Não	
Iluminação LED	Sim	
Fácil instalação	Sim	
Manutenção simples	Sim	
Solução duradoura	Sim	
Evita poluição sonora	Sim	
Materiais sustentáveis na produção do produto	Sim	

4.2. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO SISTEMA PEH

O sistema PEH é semelhante às lombas redutoras de velocidade, sendo o principal objetivo de ambas reduzir a velocidade dos veículos. Além disso, como referido anteriormente, o sistema da Pavnext pretende também controlar a sinalização horizontal (iluminação nas faixas brancas das passeadeiras) e vertical (sinalização vertical com LED).

Deste modo, o sistema tenciona atuar em 2 aspetos fundamentais para o aumento da segurança rodoviária, especialmente a segurança dos utentes vulneráveis:

- Redução da velocidade de circulação;
- Sinalização horizontal e vertical com LED.

Uma vez que o sistema PEH ainda não apresenta estudos alusivos à sua eficácia e como também não existem estudos de soluções semelhantes ao sistema PEH foi realizada uma análise individual avaliando a eficácia do controlo de velocidade e da iluminação nas passeadeiras.

A partir da análise da figura 54 já referenciada nesta dissertação como figura 8 é possível calcular a variação da percentagem de acidentes em função da variação da circulação no local. Pelo gráfico na linha relativa às “colisões com lesões”, alteração da velocidade média em 10% corresponde a uma alteração de aproximadamente 21% no número de acidentes. Com o sistema PEH é possível reduzir cerca de 40% na velocidade média, o que corresponde a aproximadamente 80% na alteração do número de colisões, como é demonstrado no quadro 3.

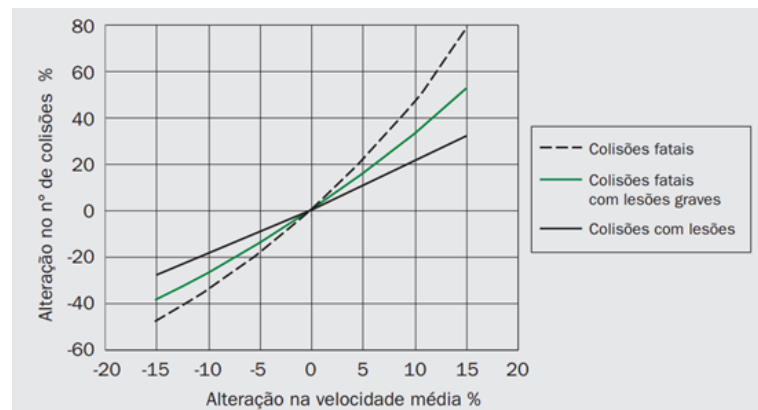


Fig.54- Ilustração do Power model e da relação entre o percentual de alteração na velocidade e o percentual de alteração no número de colisões (WHO, 2008)

Quadro 3- Alteração da velocidade média e do número de colisões

Alteração da velocidade média (%)	Alteração no número de colisões (%)
10	21
40	80

Segundo um estudo realizado por Taylor [75], foi provado que uma redução de 1 milha/hora, que equivale a aproximadamente 1,6 km/h, está associada uma diminuição de 5% na ocorrência de colisões. Assim, o sistema inovador da Pavnext permite a diminuição da velocidade do veículo em 20 km/h, o que corresponde a uma redução de 62,5% na frequência de colisões, como é apresentado no quadro 4.

Quadro 4- Relação velocidade e colisões

Relação velocidade e colisão	
Diminuição de 1,6 km/h	Redução de 5% a probabilidade de colisão
Diminuição de 20 km/h	Redução de 62,5% a probabilidade de colisão

Analisou-se o impacto que uma redução de 50 km/h para 30 km/h teria na fatalidade, a partir da curva em S. Como referido no capítulo 2, quando um carro circula a uma velocidade de 30 km/h, a probabilidade de ocorrer colisões entre carros e peões é de 90%. E quando circula a velocidades de 50 km/h, apenas 20% dos peões sobrevivem. Assim, uma redução de 20 km/h corresponde a uma redução de 70% na probabilidade de vítimas mortais, como é apresentado no quadro 5.

Quadro 5- Relação velocidade e vítimas mortais

Relação velocidade e vítimas mortais	
Diminuição de 50 para 30 km/h	Diminui de 90% para 20%
Redução de 40% na velocidade	Reduz 70% a probabilidade de vítimas mortais

O valor final do parâmetro de controlo de velocidade é a média dos 2 valores calculados anteriormente e que corresponde a 71,3%. Assim sendo, se o sistema PEH atuasse apenas ao nível do controlo da velocidade este reduzia em 71,3% a probabilidade de ocorrência de colisões e reduzia 70% a probabilidade de vítimas mortais.

O estudo de Patella [76] teve como objetivo avaliar o impacto na segurança rodoviária através de um sistema inovador de iluminação LED, posicionado nas faixas brancas das passareiras, que é ativado através de sensores que detetam a presença do peão à entrada da passagem de peões. Segundo este estudo, esta tecnologia mostra uma redução de 19,3% da velocidade média na passagem de peões e também se verificou que mantendo os LED ligados mesmo na ausência de peões, a velocidade dos veículos sofria uma redução de 16,4%. Em cada faixa branca das passareiras são instalados 2 painéis (um de cada lado), onde cada painel tem 0,4 m × 0,4 m, contém 9 faixas LED e pode ser fornecido com 12 V ou 230 V.

Assim sendo, é possível definir que a presença de iluminação nas faixas brancas da passareira reduz cerca de 19,3% a velocidade média. Aplicando uma proporcionalidade de valores, em que a redução de 20km/h na velocidade média corresponde a 40%, a redução de 19,3% corresponde a uma redução de 9,65km/h na velocidade. A mesma proporcionalidade é aplicada para determinar a percentagem de redução na probabilidade de colisões e de vítimas mortais. Em seguida são apresentados os resultados no quadro 6.

Quadro 6- Resultados da redução de colisões e vítimas mortais segundo a iluminação horizontal

Velocidade inicial (km/h)	Redução 19,3% na velocidade	Velocidade final (km/h)
50	9,65	40,35
Redução na probabilidade de colisões = 34,4%		
Redução na probabilidade de vítimas mortais = 33,8%		

A redução de velocidade devido ao sistema PEH e a iluminação das passareiras são duas situações que melhoram a segurança dos peões nas passareiras, sendo uma ocorrência independente da outra. Contudo, foi estimada a probabilidade que as duas ações influenciam na redução de colisões e de vítimas mortais.

Inicialmente foi realizada uma soma direta com as percentagens, ou seja, à percentagem de redução de colisões com o controlo de velocidade do sistema PEH foi somada a percentagem de redução de colisões quando implementada iluminação nas passareiras. O mesmo foi efetuado para determinar a percentagem de redução de vítimas mortais. Os resultados obtidos estão apresentados no quadro 7.

Quadro 7- Resultados do cálculo direto da eficácia do sistema PEH

	Redução da velocidade (%)	Redução de colisões (%)	Redução de vítimas mortais (%)
Efeito do controlo de velocidade (%)	40	71,3	70
Efeito da iluminação nas passadeiras (%)	19,3	34,4	33,8
Total	59,3	105,7	103,8

Como referido no capítulo 3, o facto de existir iluminação nas passadeiras não significa que esta seja suficiente para aumentar a visibilidade do peão. Assim, não podemos comparar diretamente o estudo realizado por Patella com o sistema de iluminação da Pavnext pois a quantidade de luz fornecida a cada sistema de iluminação pode não ser a mesma e desta forma influencia os resultados relativos à redução de velocidade.

O sistema de iluminação abordado por Patella é relativo a um conjunto de painéis que se ligam ao mesmo tempo quando é detetada a presença de um peão. Enquanto o sistema da Pavnext ilumina o pavimento de forma a demonstrar o caminho que o peão irá percorrer na passadeira, com início no lado em que o peão está a entrar em direção ao lado onde irá sair. Posto isto, os dois sistemas não funcionam da mesma forma daqui que não podemos afirmar que apresentam ter a mesma eficácia.

Assim, foi utilizado um teorema já anteriormente utilizado pela Márcia Vale na sua dissertação [79], para estimar a eficiência do sistema PEH: o teorema da soma de probabilidades de eventos não mutuamente exclusivos. O teorema pode ser representado pela seguinte fórmula:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad (1)$$

Assumindo que o acontecimento A é o efeito de controlo de velocidade do sistema PEH e o acontecimento B o sistema de iluminação das passadeiras, as probabilidades de redução de velocidade associadas a cada um são, como definidas anteriormente:

$$P(A) = 40\%$$

$$P(B) = 19,3\%$$

Logo,

$$P(A \cap B) = 0,4 \times 0,193 = 0,0772 = 7,72\%$$

Considerando como exemplo a velocidade inicial de 50km/h e assumindo que as influências dos acontecimentos se sobrepõem $P(A \cap B)$, espera-se que a redução na velocidade seja de 3,86km/h. No quadro 8, seguem-se os resultados alusivos à probabilidade de colisões de vítimas mortais.

Quadro 8- Efeito combinado dos acontecimentos na redução de colisões e vítimas mortais

Velocidade inicial (km/h)	Redução 7,72% na velocidade	Velocidade final (km/h)
50	3,86	46,14
Redução na probabilidade de colisões = 13,8%		
Redução na probabilidade de vítimas mortais = 13,5%		

Por fim, aplicando o teorema anteriormente mencionado na equação (1), os resultados relativos à redução na probabilidade de colisões e vítimas mortais foram os seguintes, apresentados no quadro 9.

Quadro 9- Resultados da metodologia de cálculo da eficácia do sistema PEH

	Redução de colisões (%)	Redução de vítimas mortais (%)
P(A) Efeito do controlo de velocidade	71,3	70
P(B) Efeito da iluminação nas passadeiras	34,4	33,8
P(A∩B)	13,8	13,5
Total	91,9	90,3

Como referido neste capítulo, se o sistema PEH for aplicado em 20 metros de comprimento, é possível reduzir a velocidade em 40%. O que significa que por cada 2 metros de aplicação, o sistema tende a reduzir 4% da velocidade dos veículos. Assim sendo, reduzir a velocidade em 4% têm uma redução de 7,13% nas colisões e uma redução de 7% no número de vítimas mortais. Em seguida é realizada uma análise em que a iluminação nas passadeiras reduzia a velocidade em 19,3% e assumindo que a combinação de efeitos ao nível do controlo de velocidade e da iluminação nas passadeiras era de máxima eficácia, 100%, quantos metros de aplicação do sistema é que seriam necessários. No quadro 10 estão apresentados os resultados que o efeito do controlo da velocidade teria na redução de colisões e na redução de vítimas mortais. Assim como seria a eficácia do sistema PEH no que toca à redução de velocidade, para que a redução de colisões e vítimas mortais fosse 100%.

Quadro 10- Valores do efeito do controlo da velocidade quando a eficácia do sistema PEH é de 100%

	Redução de colisões (%)	Redução de vítimas mortais (%)
Total	100	100
Efeito da iluminação nas passadeiras (%)	34,4	33,8
Efeito do controlo de velocidade (%)	65,6	66,2
Redução da velocidade (%)	36,8	37,8

Aplicando a proporcionalidade de valores de acordo com o anteriormente descrito, no quadro 11 seguinte são exibidos os resultados obtidos do número de metros necessários aplicar no pavimento para que a eficácia do sistema PEH fosse 100%.

Quadro 11- Número de metros necessários quando a eficácia do sistema PEH é de 100%

	Redução de colisões (%)	Redução de vítimas mortais (%)
Redução da velocidade (%)	36,8	37,8
Número de metros a aplicar no pavimento (m)	18,4	18,9

Para ser possível a redução de colisões e redução de vítimas mortais em aproximadamente 100%, o sistema de controlo de velocidade da Pavnext, juntamente com a iluminação nas passadeiras, precisava de 18,9 metros em vez dos 20 metros. Desta forma, o sistema inovador conseguiria garantir uma elevada eficácia, conseguindo reduzir alguns metros e consequentemente o custo de aplicação também seria menor.

4.3. ANÁLISE DAS NOVAS MEDIDAS

De modo a avaliar a força competitiva do produto da Pavnext, foi realizada uma análise técnica comparando a solução da Pavnext com as outras soluções mais recentes. Foram tidas em conta características como a redução de velocidade, geração de energia, iluminação LED (iluminando a passadeira ou iluminação embutida nas passadeiras), utilização de painéis solares e captação da atenção dos peões. Em seguida, no quadro 12, é apresentada a análise comparativa das várias empresas.

Quadro 12- Análise técnica comparativa

Empresa	Redução autónoma de velocidade	Geração de energia	Iluminação LED	Deteção de peões	Utilização de painéis solares	Captação da atenção do peão
Pavnext						
Detas-Power						
STS Systems						
PROINova						
Ekaldes						
Omniflow						
SERNIS						
Colas/Aximum						

Através da análise do quadro 2, é possível verificar que todas as soluções apresentam uma das principais características para que seja possível a diminuição de acidentes na estrada: a iluminação. Esta permite que a passadeira tenha uma maior distinção na área circundante, dá aos condutores uma visibilidade clara da aproximação dos peões e minimiza o encandeamento para os condutores. Por outro lado, apenas o sistema da Pavnext consegue reduzir de forma autónoma a velocidade dos carros, considerando que a redução de velocidade na aproximação de passagem de peões também é um dos aspetos fundamentais no combate à sinistralidade rodoviária.

4.4. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Com base no estudo realizado pela Márcia Vale na sua dissertação [79], é possível identificar valores médios de eficácia de algumas medidas implementadas, tais como sinalização, lombas e passadeiras

pedonais elevadas. Anteriormente já foi verificada a eficácia dos LED's e do sistema *Pavement Energy Harvesting*. Assim, o valor de eficácia de cada medida é:

- Sinalização = 24%
- Lombas = 51,3%
- Passadeiras pedonais elevadas = 65%
- LED's = 19,3%
- Pavement Energy Harvesting = 91,9%

O sistema PEH foi implementado e testado numa passadeira, perto de uma escola em Matosinhos, sendo este um local que requer mais atenção por parte dos condutores. Não existem dados oficiais quanto ao número de acidentes, feridos e vítimas mortais antes da implementação do sistema. Mas podemos arbitrar valores de forma, a avaliar com mais precisão a viabilidade do sistema inovador da Pavnext, comparando-o a medidas já implementadas em várias zonas.

Deste modo, são arbitrados os seguintes valores:

- 20 acidentes;
- 10 feridos leves;
- 5 feridos graves;
- 2 vítimas mortais

Para cada medida, foi avaliada a redução do número de acidentes, feridos leve, feridos graves e mortes assim como a redução de custo associada a cada lesão. Para isso, considerou-se que o custo médio por cada lesão eram os valores obtidos no capítulo 2, em relação ao ano de 2022:

- 46.216,90€/ferido leve;
- 218.791,27€/ferido grave;
- 1.476.406,05€/vítima mortal

Quadro 13- Redução do número de feridos leves e dos custos de feridos leves de acordo com as medidas selecionadas

Medida	Número de feridos leves	Eficácia (%)	Redução do número de feridos leves	Redução do custo por feridos leves (€)
Sinalização	10	24	2,4	110.921
Lombas		51,3	5,13	237.093
Passadeiras pedonais elevadas		65	6,5	300.410
LED's		19,3	1,93	89.198,6
Pavement Energy Harvesting		91,9	9,19	424.733

Quadro 14- Redução do número de feridos graves e dos custos de feridos graves de acordo com as medidas selecionadas

Medida	Número de feridos graves	Eficácia (%)	Redução do número de feridos graves	Redução do custo por feridos graves (€)
Sinalização	5	24	1,2	262.550
Lombas		51,3	2,57	562.294
Passadeiras pedonais elevadas		65	3,25	711.072
LED's		19,3	0,97	212.228
Pavement Energy Harvesting		91,9	4,6	1.000.000

Quadro 15- Redução do número de vítimas mortais e dos custos de vítimas mortais de acordo com as medidas selecionadas

Medida	Número de vítimas mortais	Eficácia (%)	Redução do número de vítimas mortais	Redução do custo por vítimas mortais (€)
Sinalização	2	24	0,48	708.675
Lombas		51,3	1,07	1.579.750
Passadeiras pedonais elevadas		65	1,3	1.919.330
LED's		19,3	0,39	575.798
Pavement Energy Harvesting		91,9	1,84	2.716.590

Com base nos quadros 13, 14 e 15, é possível concluir-se que o sistema PEH apresenta uma redução dos vários tipos de lesão muito superior comparado às outras medidas. Para além de apresentar uma elevada redução no tipo de lesão, também se verifica uma redução monetária acentuada.

5

CONCLUSÕES

5.1. CONCLUSÕES FINAIS

Com o passar dos anos, a centralização e urbanização tem vindo a aumentar rapidamente. Sendo que as cidades não estão preparadas para essa evolução, nomeadamente no que respeita a infraestruturas rodoviárias e à segurança dos utentes mais vulneráveis. Desta forma, os acidentes rodoviários continuam a ser uma preocupação a nível mundial, uma vez que os números ainda têm uma elevada repercussão na sociedade. Grande parte dos atropelamentos de peões acontecem dentro das localidades, devido a vários fatores como excesso de velocidade e má iluminação das estradas, principalmente das passeadeiras. Surgem assim as medidas de acalmia de tráfego com o intuito de minimizar alguns desses fatores que levam à ocorrência de acidentes, e consequentemente a uma maior proteção dos utentes mais vulneráveis.

Neste sentido, a empresa Pavnext desenvolveu um sistema que atua nos principais fatores que causam acidentes rodoviários em meio urbano: o excesso de velocidade e a má iluminação. O sistema *Pavement Energy Harvesting*, PEH, tem a habilidade de reduzir a velocidade dos veículos, de forma autónoma, sem qualquer intervenção do condutor. A energia mecânica que é retirada do veículo é depois convertida em energia elétrica, que será utilizada para iluminar os LED's implementados nas passeadeiras, atuando, desta forma, na segurança rodoviária. Um dos pontos a favor deste sistema inovador é o facto de não contribuir para a poluição sonora, ao contrário das habituais lombas de redução de velocidade.

O sistema da Pavnext não é o único que pretende atuar na sinistralidade rodoviária de forma inovadora. No mercado, também se pode encontrar outros sistemas inovadores, mas que não apresentam todas as características que compõem o sistema da PEH. A empresa Omniflow tem em vista aperfeiçoar o seu produto de maneira a desacelerar ativamente os veículos na presença de peões.

O estudo da potencialidade do sistema PEH foi realizado tendo em conta a eficácia da componente de controlo de velocidade e da componente alusiva à iluminação das passeadeiras, visto não existirem estudos de sistemas semelhantes ao PEH. Utilizando as duas componentes referidas foi possível estimar a eficácia do sistema.

Assim, foi obtido um valor de redução nas colisões correspondente a 91,9% e uma redução nas vítimas mortais de 90,3%. De acordo com estes dois critérios, é possível concluir que o sistema PEH é uma mais-valia para melhoria da segurança rodoviária, devido à sua elevada eficácia e ao seu impacto no meio ambiente.

De maneira a avaliar a viabilidade do sistema PEH, foi feita uma análise de quanto seria o impacto em termos económicos e sociais, utilizando o sistema da Pavnext, comparando-o com outras soluções já implementadas.

Futuramente, para dar continuidade ao estudo deste sistema inovador desenvolvido pela Pavnext, será necessário realizar uma recolha de dados do local onde está implementado o único dispositivo PEH. Posteriormente seria uma mais valia efetuar uma análise da eficácia do sistema, como realizada no exemplo de aplicação, mas neste caso com dados reais.

Para concluir, para reduzir o número de atropelamentos de peões em passadeiras deverá ter-se em conta a gestão de tráfego das vias aconselhada pela implementação do sistema PEH em seções específicas, como seções imediatamente localizadas antes das passadeiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. United Nations, *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. 2019, Department of Economic and Social Affairs: New York.
2. Eurostat. *Road accidents: number of fatalities continues falling* 24/06/2021 05/04/2022]; Available from: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/-/ddn-20210624-1>
3. World Health Organization. *Road traffic injuries: Key facts*. 21/06/2021 05/04/2022]; Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
4. Autoridade Nacional Segurança Rodoviária. Novembro 2021.
5. Silva, C.M.P.d., J.M.V. Bravo, and J.M. Gonçalves, *Impacto Económico e Social da Sinistralidade Rodoviária em Portugal*. 2021, CEGE - Centro de Estudos de Gestão do ISEG e Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR): Lisboa.
6. Antov, D., T. Rõivas, and H. Rõuk, *Investigating Drivers' Behaviour at Non-Signalised Pedestrian Crossings*. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 2007. 2: p. 111-118.
7. Organização Mundial da Saúde e Comissões Regionais das Nações Unidas, *DÉCADA DE AÇÃO PELA SEGURANÇA NO TRÂNSITO 2021-2030*.
8. Autoridade Nacional Segurança Rodoviária, *Vítimas a 30 dias*. 2018.
9. Simões, M.T.B.d.S., *Fatores de risco auto reportados associados aos acidentes rodoviários: um estudo sobre os condutores portugueses de veículos ligeiros*. 2014, Universidade Nova de Lisboa, Escola Nacional de Saúde Pública: Lisboa.
10. Oliveira, P.M., *Os Factores Potenciadores da Sinistralidade Rodoviária- Análise aos fatores que estão na base da sinistralidade*. 2007, ISCTE: Lisboa.
11. Elvik, R., et al., *O Manual de Medidas de Segurança Viária- Edição ampliada e revisada*. 2015, Fundación MAPFRE.
12. Patra, S.S., B.R. Chilukuri, and L. Vanajakshi, *Analysis of road traffic pattern changes due to activity restrictions during COVID-19 pandemic in Chennai*. Transportation Letters, 2021. 13(5-6): p. 473-481.
13. International Transport Forum, *Road Safety Annual Report*. 2020.
14. Li, J. and Z. Zhao, *Impact of COVID-19 travel-restriction policies on road traffic accident patterns with emphasis on cyclists: A case study of New York City*. Accident Analysis & Prevention, 2022. 167: p. 106586.
15. International Transport Forum, *Road Safety Annual Report 2021: The Impact of Covid-19*. 2021: Paris.
16. Adminaité-Fodor, D., J. Carson, and G. Jost, *Ranking EU Progress On Road Safety- 15th Road safety performance index report*. 2021.

17. Comissão Europeia. *Segurança rodoviária na UE: número de vítimas mortais em 2021 permanece bastante abaixo do nível anterior à pandemia*. 22/04/2022 13/05/2022]; Available from: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pt/ip_22_2012
18. Autoridade Nacional Segurança Rodoviária, *Balanço de 2021- Dados provisórios*. 2021.
19. European Commission, *Facts and Figures Pedestrians*, E.R.S. Observatory, Editor. 2021: Brussels.
20. Mendes, D., *Sinistralidade Rodoviária- Estudo do Perfil dos Atropelamentos na Cidade de Braga*. 2017, Instituto Superior de Ciencias Policias e Segurança Interna: Lisboa.
21. Transport, E.C.o.M.o., *Speed Management*. 2006.
22. Vaitkus, A., et al., *Traffic Calming Measures: An Evaluation of the Effect on Driving Speed*. PROMET - Traffic&Transportation, 2017. **29**(3): p. 275-285.
23. Jurewicz, C., et al., *Exploration of Vehicle Impact Speed – Injury Severity Relationships for Application in Safer Road Design*. Transportation Research Procedia, 2016. **14**: p. 4247-4256.
24. Job, S., J.F. Dave Cliff, Marcin Flieger , and B. Harman, *Guia Para Determinar A Prontidão Para Radades de Velocidade E Outras Fiscalizações Automatizadas*, Global Road Safety Facility and the Global Road Safety Partnership, Editor. 2020: Suíça.
25. Organização Pan-Americana da Saúde, *Gestão da velocidade: um manual de segurança viária para gestores e profissionais da área*. 2012: Brasília.
26. Costa, A.H.P.d. and J.M.G. Macedo, *Engenharia de Tráfego: Conceitos Básicos*. 2008.
27. Organização Pan-Americana da Saúde, *Velocidade e acidentes de trânsito* 2014.
28. Organização Mundial da Saúde, *A Segurança Rodoviária Não É Acidental*. 2004.
29. Sá, J.M.O., *Estudo de atropelamentos em passeadeiras e avaliação de um sistema inovador de redução de velocidade*, in *Engenharia Civil- Vias de Comunicação*. 2020, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
30. Comissão Europeia. *A Europa em Movimento: Comissão conclui agenda da mobilidade segura, limpa e conectada*. 2018 17/05/2018 17/05/2022]; Available from: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_18_3708.
31. International Transport Forum, *Zero Road Deaths and Serious Injuries*. 2016.
32. *Resumo – Visão Zero*. 2018 17/05/2022]; Available from: <https://redevidanotransito.wordpress.com/2018/05/08/resumo-visao-zero/>
33. Safarpour, H., D. Khorasani-Zavareh, and R. Mohammadi, *The common road safety approaches: A scoping review and thematic analysis*. Chinese Journal of Traumatology, 2020. **23**(2): p. 113-121.
34. Johansson, R., *Vision Zero – Implementing a policy for traffic safety*. Safety Science, 2009. **47**(6): p. 826-831.
35. *What is Vision Zero?* 18/05/2022]; Available from: <https://visionzeronetwork.org/about/what-is-vision-zero/>

36. Associação pela Mobilidade Urbana em Bicicleta. *Visão Zero 2030: Contributos da MUBi*. 17/12/2020 18/05/2022]; Available from: <https://mubi.pt/2020/12/17/visao-zero-2030-contributos-da-mubi/>
37. Autoridade Nacional Segurança Rodoviária. *Visão Zero 2030*. Available from: <https://visaozero2030.pt/#visao>
38. Autoridade Nacional Segurança Rodoviária, *Primeira fase da Estratégia Visão Zero 2030 concluída*. 2021: Barcarena.
39. Autoridade Nacional Segurança Rodoviária, *Princípios Balizadores da Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária*. 2020.
40. Cardoso, J.L., S.V. Gomes, and C. Roque, *Fundamentos Técnico-Científicos Para A Estratégia De Segurança Rodoviária 2020-2030- Situação atual e desafios emergentes*. 2021: Lisboa.
41. Organização Pan-Americana da Saúde, *Segurança de pedestres: Manual de segurança viária para gestores e profissionais da área*. 2013.
42. Instituto da Mobilidade e dos Transportes, *Documento Normativo Para Aplicação A Arruamentos Urbanos: Fascículo IV – Medidas de acalmia e outros dispositivos de tráfego* 2020: Lisboa.
43. Katie Pask, S. *Only 30% of Japanese drivers stop for pedestrians at crosswalks, survey says*. 27/04/2022 18/12/2021]; Available from: <https://japantoday.com/category/features/lifestyle/only-30-percent-of-japanese-drivers-stop-for-pedestrians-at-crosswalks-survey-says>
44. Silva, A.B., A.L. Vasconcelos, and S. Santos, *Das Rotundas Convencionais Às Turborotundas*.
45. Diependaele, K., *Non-compliance with pedestrian traffic lights in Belgian cities*. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2019. **67**: p. 230-241.
46. Ma, Y., S. Lu, and Y. Zhang, *Analysis on Illegal Crossing Behavior of Pedestrians at Signalized Intersections Based on Bayesian Network*. Journal of Advanced Transportation, 2020. **2020**: p. 2675197.
47. Oskarbski, J., et al., *Analysis of Signalized Intersections in the Context of Pedestrian Traffic*. Transportation Research Procedia, 2016. **14**: p. 2138-2147.
48. Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias, *Medidas de Acalmia de Tráfego: Volume 1- Medidas Individuais Aplicadas em Atravessamentos de Localidades*. 2011.
49. Ribeiro, A., *Manual de Acalmia de Tráfego - CCDDR_norte*. 2013.
50. Baptista, A.F.d.V.L., *Estudo da Sinistralidade Rodoviária na Praça Rotary Internacional- Causas e Soluções*, in *Engenharia Civil- Vias de Comunicação* 2015, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
51. Pereira, J.M.A., *Medidas de acalmia de tráfego em áreas urbanas consolidadas: Um caso no concelho do Seixal*, in *Metropolização-Planeamento Estratégico e Sustentabilidade*. 2013, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa e Universidade Atlântica.
52. Maharani, D., I. Ismiyati, and M. Handajani, *Traffic Flow Analysis Due to Road Narrowing (Case Study: Jatingaleh Underpass)*. 2019.

53. Seguro, R.C. *A nova dimesão das passadeiras para peões*. 10/05/2022 02/06/2022].
54. NZ Transport Agency, *Economic Evaluation Manual*. 2013.
55. Sivak, M., B. Schoettle, and O. Tsimhoni, *Moon Phases and Nighttime Road Crashes Involving Pedestrians*. LEUKOS, 2007. **4**(2): p. 129-131.
56. União Europeia. *Estatísticas sobre sinistralidade rodoviária na UE (infografia)*. 2019 21/10/2021 21/04/2022]; Available from: <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20190410STO36615/estatisticas-sobre-sinistralidade-rodoviaria-na-ue-infografia>
57. Bullough, J.D., E.T. Donnell, and M.S. Rea, *To illuminate or not to illuminate: Roadway lighting as it affects traffic safety at intersections*. Accident Analysis & Prevention, 2013. **53**: p. 65-77.
58. Wavvik, P.O. *Road Lighting and Traffic Safety: Do we need Road Lighting?* 2009.
59. Jackett, M. and W. Frith, *Quantifying the impact of road lighting on road safety — A New Zealand Study*. IATSS Research, 2013. **36**(2): p. 139-145.
60. Duarte, F.J.A., *Pavement energy harvesting system to convert vehicles kinetic energy into electricity*, in *Sistema de Transportes*. 2018, Universidade de Coimbra.
61. Solar Innova. 31/05/2022]; Available from: <https://www.solarinnova.net/pt/produtos/fotovoltaiica/modulos/bipv/pavimento#descri%C3%A7%C3%A3o>
62. Onxy Solar. 31/05/2022]; Available from: <https://www.onyxosolar.es/vidrio-fotovoltaiico/soluciones-constructivas/suelo-fotovoltaiico-transitable>
63. Platio Solar. 31/05/2022]; Available from: <https://platosolar.com/platio/>
64. CONENNA, N. *LYBRA: the speed bump which generates energy* 12/01/2017 31/05/2022]; Available from: <https://energycue.it/lybra-speed-bump-generates-energy/8899/>
65. Inteligencia Vial. 31/05/2022]; Available from: <http://inteligenciavial.mx/>
66. Actibump. 31/05/2022]; Available from: <https://www.actibump.com/>
67. LED Pedestrian Crossing. 31/05/2022]; Available from: <https://www.ledpedestriancrossing.com/>
68. STS Systems. 31/05/2022]; Available from: <https://www.stssystems.es/balizamiento.html>
69. Paso de Peatones Inteligente. 31/05/2022]; Available from: <https://www.pasodepeatonesinteligente.es/v>
70. Ekaldes. 31/05/2022]; Available from: <https://www.ekaldes.com.tr/en/>.
71. Omniflow. 31/05/2022]; Available from: <https://pt.omniflow.io/>
72. Sernis. 31/05/2022]; Available from: <https://www.sernis.com/?l=pt>
73. Colas. 31/05/2022]; Available from: <https://www.colas.com/en/innovation/mobility-solutions-for-more-cohesive-connected-communities>

74. Vale, M.A.d.S., *Avaliação Do Potencial Impacto De Um Sistema Inovador De Pavement Energy Harvesting Na Segurança Rodoviária*, in *Engenharia Civil- Vias de Comunicação*. 2020, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
75. Taylor, M.C., D. Lynam, and A. Baruya, *The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents*. 2000: Transport Research Laboratory Crowthorne.
76. Patella, S., et al., *The Effect of a LED Lighting Crosswalk on Pedestrian Safety: Some Experimental Results*. Safety, 2020. **6**.

ANEXOS

A1. CUSTOS ECONÓMICOS E SOCIAIS ANUAIS DOS ACIDENTES RODOVIÁRIOS EM PORTUGAL (1996-2010)

Evolução do custo económico e social dos acidentes rodoviários com vítimas mortais, no período de 1996 a 2010

Ano	Custo Social Anual dos Acidentes com Vítimas Mortais (Valores em Euros)
1996	1.250.197.239
1997	1.217.203.441
1998	1.233.072.090
1999	1.182.844.325
2000	1.114.833.343
2001	1.028.231.232
2002	1.030.999.221
2003	921.983.307
2004	791.785.522
2005	749.321.662
2006	553.188.798
2007	573.938.956
2008	509.705.841
2009	473.667.213
2010	462.951.908

Evolução do custo económico e social dos acidentes rodoviários com feridos graves, no período de 1996 a 2010

Evolução do custo
acidentes rodoviários
período de 1996 a 2010

Ano	Custo Social Médio Anual dos Acidentes com Feridos Graves (Valores em Euros)
1996	921.518.835
1997	805.448.157
1998	717.551.494
1999	684.104.314
2000	632.885.172
2001	587.877.957
2002	485.916.347
2003	454.334.263
2004	416.032.370
2005	370.129.330
2006	352.794.520
2007	307.528.248
2008	262.474.940
2009	266.758.689
2010	268.060.232

económico e social dos
com feridos leves, no

Ano	Custo Social Médio Anual dos Acidentes com Feridos Ligeiros (Valores em Euros)
1996	913.830.989
1997	942.829.823
1998	966.600.723
1999	972.265.583
2000	972.470.139
2001	1.400.638.069
2002	1.393.606.287
2003	1.293.475.203
2004	1.246.503.663
2005	1.188.900.916
2006	1.197.378.473
2007	1.018.774.998
2008	1.097.586.503
2009	1.157.998.863
2010	1.158.812.509

**A2. CUSTOS MÉDIOS ANUAIS DOS ACIDENTES RODOVIÁRIOS POR TIPO DE VÍTIMA
EM PORTUGAL (1996-2010)**

Evolução do custo médio por vítima mortal

Ano	Custo Económico e Social Médio por Vítima Mortal (Valores em Euros)
1996	595.332
1997	627.748
1998	661.165
1999	675.911
2000	684.367
2001	701.386
2002	701.837
2003	679.929
2004	697.608
2005	684.938
2006	650.810
2007	672.060
2008	656.837
2009	642.696
2010	624.766

Evolução do custo médio por ferido grave

Ano	Custo Económico e Social Médio por Ferido Grave (Valores em Euros)
1996	84.995
1997	86.283
1998	87.752
1999	88.879
2000	91.484
2001	101.411
2002	101.869
2003	97.518
2004	99.292
2005	98.386
2006	101.290
2007	98.693
2008	100.719
2009	101.661
2010	101.653

Evolução do custo médio por ferido leve

Ano	Custo Económico e Social Médio por Ferido Ligeiro (Valores em Euros)
1996	16.381
1997	16.489
1998	16.544
1999	16.871
2000	18.346
2001	27.331
2002	26.896
2003	25.563
2004	26.067
2005	26.137
2006	27.429
2007	23.582
2008	26.559
2009	26.444
2010	26.382

A3. ESTIMAÇÃO DO CUSTO MÉDIO DOS ACIDENTES RODOVIÁRIOS POR TIPO DE VÍTIMA EM PORTUGAL (2022)

Vítima Mortal

Ano	nº vítimas	custo anual total	custo/ vítima mortal	salário mínimo anual	rácio
1996	2100	1250197239	595332	3812,8	156,1403693
1997	1939	1217203441	627748	3959,5	158,5422402
1998	1865	1233072090	661165	4113,1	160,7461525
1999	1750	1182844325	675911	4280,7	157,8973065
2000	1629	1114833343	684367	4455,3	153,607389
2001	1466	1028231232	701386	4678,7	149,9104452
2002	1469	1030999221	701837	4872,1	144,0522567
2003	1356	921983307	679929	4992,4	136,1928131
2004	1135	791785522	697608	5118,4	136,2941544
2005	1094	7493211662	684938	5245,8	130,568836
2006	850	553188798	650810	5402,6	120,46237
2007	854	573938956	672060	5642	119,1173343
2008	776	509705841	656837	5964	110,1336351
2009	737	473667213	642696	6300	102,0152381
2010	741	462954908	624766	6650	93,94977444
2019			3055358	8400	363,7330952
			813296,75		149,5852131
2022			1476406,054	9870	

Ferido Grave

Ano	nº vítimas	custo anual total	custo/ ferido grave	salário mínimo anual	rácio
1996	10842	921518835	84995	3812,8	22,29201637
1997	9335	805448157	86283	3959,5	21,7913878
1998	8177	717551494	87752	4113,1	21,33475967
1999	7697	684104314	88879	4280,7	20,76272572
2000	6918	632885172	91484	4455,3	20,53374632
2001	5797	587877957	101411	4678,7	21,67503794
2002	4770	485916347	101869	4872,1	20,90864309
2003	4659	454334263	97518	4992,4	19,5332906
2004	4190	416032370	99292	5118,4	19,39903095
2005	3762	370129330	98386	5245,8	18,75519463
2006	3483	352794520	101290	5402,6	18,74838041
2007	3116	307528248	98386	5642	17,4381425
2008	2606	262474940	100719	5964	16,88782696
2009	2624	266758689	101661	6300	16,13666667
2010	2637	268060232	101653	6650	15,28616541
2019			530828	8400	63,19380952
			123275,375		22,16730154
2022			218791,2662	9870	

Ferido Leve

Ano	nº vítimas	custo anual total	custo/ ferido leve	salário mínimo anual	rácio
1996	55785	913830989	16381	3812,8	4,296317667
1997	57181	942829823	16489	3959,5	4,164414699
1998	58426	966600723	16544	4113,1	4,022270307
1999	57630	972265583	16871	4280,7	3,941177845
2000	53006	972470139	18346	4455,3	4,117792292
2001	51247	1400638069	27331	4678,7	5,841579926
2002	51815	1393606287	26896	4872,1	5,520412143
2003	50599	1293475203	25563	4992,4	5,120382982
2004	47819	1246503663	26067	5118,4	5,092802438
2005	45487	1188900916	26137	5245,8	4,98246216
2006	43654	1197378473	27429	5402,6	5,076999963
2007	43202	1018774998	23582	5642	4,179723502
2008	41327	1097586503	26559	5964	4,453219316
2009	43790	1157998863	26444	6300	4,197460317
2010	43924	1158812509	26382	6650	3,967218045
2019			49953	8400	5,946785714
			24810,875		4,682563707
2022			46216,90379	9870	

