

# **DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE MÉTODOS DE INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE PAVEMENT ENERGY HARVESTING EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS**

**SAMANTHA CAROLINA QUENTAL TEIXEIRA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO**

---

Orientador: Professor Jaime Manuel Queirós Ribeiro

---

Coorientador: Doutor Francisco João Anastácio Duarte

JUNHO DE 2020

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2019/2020**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [mipec@fe.up.pt](mailto:mipec@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

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto: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 Integrado em Engenharia Civil - 2019/2020 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2020.*

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 Irmão

*We never know how high we are till we are called to rise;  
And then, if we are true to plan, our statures touch the skies.*

*Emily Dickinson.*



## AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação não seria possível sem a ajuda de um conjunto de pessoas que contribuíram, de forma direta ou indireta, para o resultado final.

Ao Professor Jaime Manuel Queirós Ribeiro, pela sua partilha de conhecimentos, disponibilidade e orientação de forma sempre atenta, que foram essenciais na elaboração da presente dissertação. Agradecida sempre.

Agradeço imensamente ao Doutor Francisco João Anastácio Duarte, que se mostrou sempre disponível para fornecer informações necessárias e resolver dúvidas. Pela constante preocupação, não só no aspeto laboral, mas também pelo conforto de todos os presentes na start-up e pelo incentivo concedido. Para mim foi um privilégio formar parte da equipa da *Pavnext*, especialmente do projeto *NEXT-Road*, que, para além de me permitir ganhar conhecimentos em outras áreas da engenharia, ajudou no meu crescimento pessoal e profissional.

De referir, ainda, a Câmara Municipal de Matosinhos, pelo apoio e pela orientação dos seus serviços na área de Engenharia Civil, especialmente à Divisão de Espaço Público, nomeadamente à Doutora Carla Alves e demais colaboradores que estiveram em contacto sempre com a *Pavnext*.

Agradeço aos meus amigos da FEUP, que estiveram sempre dispostos a ajudar no meu percurso académico em Portugal sem pedir nada em troca e, também, aos que tive o prazer de conhecer ao longo da minha vida académica aqui e na Venezuela. Nunca serão esquecidos.

Um especial agradecimento à Doutora Fernanda Mendes pelo apoio durante a realização desta dissertação e por me ter ajudado a ultrapassar esta etapa da minha vida.

Finalmente, quero expressar o mais profundo e sincero agradecimento à minha família, que apesar da distância e da situação, sempre acreditou em mim e esteve presente com muito amor e carinho. Em especial, obrigado aos meus pais, Omaira e Carlos, por serem os pilares da minha vida e por me inculcarem os valores essenciais de educação e integridade. Ao meu irmão, Christian, os meus avós, tios e primos, por me incentivarem a ser cada dia melhor e por me darem ânimo nos momentos mais difíceis. Agradeço a Deus por tê-los na minha vida.



## RESUMO

A solução de *Pavement Energy Harvesting (PEH) NEXT-Road* consiste num novo sistema que está a ser desenvolvido pela empresa *Pavnext*, com o objetivo principal de transformar a energia das cargas aplicadas pelos veículos sobre o pavimento rodoviário em energia elétrica, tendo um efeito muito positivo na área da segurança rodoviária, ao permitir reduzir a velocidade de circulação dos veículos sem depender da ação de travagem dos condutores, devido à desaceleração induzida nos veículos. Assim, a mesma solução tem um contributo positivo nas vertentes de segurança rodoviária e sustentabilidade ambiental, contribuindo para a descarbonização das cidades. Os equipamentos *NEXT-Road* aplicam-se no pavimento rodoviário, preferencialmente em zonas de desaceleração obrigatória (como na aproximação a passadeiras), de modo a que, com a passagem de um veículo sobre estes equipamentos, a sua velocidade seja reduzida de forma gradual, através da captação da sua energia cinética por parte do sistema *NEXT-Road*.

Esta dissertação teve como objetivo principal desenvolver e analisar métodos de instalação do sistema *NEXT-Road*, fazendo incidir o estudo na peça de suporte dos módulos, no sistema de drenagem que o complementa e na ligação do módulo *Pavnext* com o pavimento rodoviário. Por outro lado, foi realizado um estudo dos equipamentos rodoviários como suplementos indispensáveis para um bom funcionamento do sistema. Isto de forma a normalizar a implementação do sistema, independentemente do local, cumprindo com as normas técnicas existentes que podem ser aplicadas ao sistema PEH.

Assim, foi realizado um Projeto de instalação de um teste piloto, que irá ser implementado num ambiente real, e que foi submetido a uma entidade licenciadora para validação. Verificou-se a viabilidade técnica da implementação do sistema, sendo ainda necessária a validação das propostas de dois dos equipamentos rodoviários por outra entidade licenciadora.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Pavement Energy Harvesting*, Sistemas Redutores de Velocidade, Normas Técnicas, Método de Instalação, Análise Técnica.



## ABSTRACT

The Pavement Energy Harvesting *NEXT-Road* solution is a new system that is being developed by the company *Pavnext* with the main objective of transforming the energy of the loads applied by the vehicles on the road pavement into electrical energy, having a very positive effect in the area of road safety, by reducing the speed of movement of vehicles without depending on the braking action of drivers, due to the deceleration induced to vehicles. Thus, the same solution has a positive contribution in terms of road safety and environmental sustainability, contributing to the decarbonization of cities. *NEXT-Road* equipment is applied along the road pavement, preferably in areas of mandatory deceleration (such as when approaching crosswalks), so that with the passage of a vehicle on these equipment, its speed is reduced gradually, by capturing its kinetic energy by the *NEXT-Road* system.

With that in mind, this Master thesis had as main objective to develop and analyse methods of installation of the system where the study focused on the support piece of the modules, the drainage system that complements it and the interrelation of the *Pavnext* module and the road pavement. On the other hand, a study of road equipment was carried out as indispensable supplements for a good functioning of the system. This, in order to normalize the implementation of the system, regardless of location, complying with the existing technical standards that can be applied to the PEH system.

Thus, a pilot test installation project was carried out, which will be implemented in a real and relevant environment, and for which it was submitted to a licensing entity for its validation.

The technical feasibility of implementing the system was verified, although it is still necessary to validate the proposals for two of the road equipment by another licensing entity.

**KEYWORDS:** Pavement Energy Harvesting, Speed Reducing Systems, Technical Standards, Installation Method, Technical Analysis.



## ÍNDICE GERAL

|                                                                                                         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| AGRADECIMENTOS .....                                                                                    | i         |
| RESUMO .....                                                                                            | iii       |
| ABSTRACT .....                                                                                          | v         |
| <br>                                                                                                    |           |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                                                              | <b>1</b>  |
| 1.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA .....                                                                        | 1         |
| 1.2. OBJETIVOS .....                                                                                    | 2         |
| 1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....                                                                     | 2         |
| <br>                                                                                                    |           |
| <b>2. ESTADO DA ARTE .....</b>                                                                          | <b>5</b>  |
| 2.1. ENQUADRAMENTO .....                                                                                | 5         |
| 2.2. SISTEMAS COM RECOLHA E ARMAZENAMENTO DE ENERGIA .....                                              | 6         |
| 2.2.1. TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA .....                                                                    | 6         |
| 2.2.2. OUTRAS TECNOLOGIAS .....                                                                         | 9         |
| 2.3. SISTEMAS DE PAVIMENTOS INTELIGENTES .....                                                          | 11        |
| 2.4. SISTEMAS REDUTORES DE VELOCIDADE .....                                                             | 12        |
| 2.4.1. ATUAM DE ACORDO COM O PESO E A VELOCIDADE DO VEÍCULO .....                                       | 12        |
| 2.4.2. ATUAM CONFORME A VELOCIDADE DO VEÍCULO (SISTEMA ELETROMECAÂNICO COM UTILIZAÇÃO DE RADARES) ..... | 13        |
| 2.5. SISTEMAS COM RECOLHA/ ARMAZENAMENTO DE ENERGIA E REDUTORES DE VELOCIDADE .....                     | 16        |
| 2.6. SISTEMA DE <i>PAVEMENT ENERGY HARVESTING: NEXT-ROAD</i> .....                                      | 18        |
| 2.7. SÍNTESE COMPARATIVA .....                                                                          | 21        |
| <br>                                                                                                    |           |
| <b>3. ANÁLISE DE NORMAS TÉCNICAS .....</b>                                                              | <b>23</b> |
| 3.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA .....                                                                        | 23        |
| 3.2. NORMAS EXISTENTES QUE PODEM SER APLICADAS AOS SISTEMAS DE <i>ENERGY HARVESTING</i> .....           | 23        |
| 3.2.1. PAVIMENTO .....                                                                                  | 23        |
| 3.2.2. PEÇA DE SUPORTE DE CADA MÓDULO .....                                                             | 25        |
| 3.2.3. SISTEMA DE DRENAGEM .....                                                                        | 26        |

|                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.4. LIGAÇÃO MÓDULO PAVNEXT-PAVIMENTOS RODOVIÁRIO ..... | 26        |
| 3.2.5. EQUIPAMENTOS RODOVIÁRIOS .....                     | 27        |
| <b>3.3. SÍNTESE CONCLUSIVA.....</b>                       | <b>32</b> |

## **4. PROJETO DE IMPLEMENTAÇÃO .....**

|                                                          |           |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4.1. ENQUADRAMENTO .....</b>                          | <b>33</b> |
| 4.1.1. ETAPAS DE UM PROCESSO CONSTRUTIVO .....           | 33        |
| 4.1.2. CONSTITUIÇÃO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS .....      | 34        |
| <b>4.2. PROGRAMA BASE .....</b>                          | <b>36</b> |
| <b>4.3. ESTUDO PRÉVIO.....</b>                           | <b>38</b> |
| 4.3.1. PROJETO TÉCNICO DA PEÇA DE SUPORTE .....          | 38        |
| 4.3.1.1. Versão 1: Caixa de betão armado .....           | 39        |
| 4.3.1.2. Versão 2: Estrutura metálica .....              | 43        |
| 4.3.2. PROJETO DO SISTEMA DE DRENAGEM .....              | 45        |
| 4.3.3. LIGAÇÃO MÓDULO PAVNEXT-PAVIMENTO RODOVIÁRIO ..... | 49        |
| 4.3.4. ACESSÓRIOS: PROJETO DE INSTALAÇÃO .....           | 51        |
| <b>4.4. ANTEPROJETO .....</b>                            | <b>54</b> |
| <b>4.5. PROJETO DE EXECUÇÃO.....</b>                     | <b>55</b> |
| 4.5.1. PROCESSO DE INSTALAÇÃO .....                      | 55        |
| 4.5.2. DOCUMENTOS DE COMUNICAÇÃO .....                   | 59        |
| <b>4.6. RECURSOS NECESSÁRIOS .....</b>                   | <b>60</b> |
| <b>4.7. SÍNTESE CONCLUSIVA.....</b>                      | <b>61</b> |

## **5. CASO DE ESTUDO .....**

|                                                                                                      |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5.1. ENQUADRAMENTO .....</b>                                                                      | <b>63</b> |
| <b>5.2. DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO PILOTO .....</b>                                                     | <b>63</b> |
| 5.2.1. CENÁRIO BASE: TRÊS VIAS COM MÓDULOS DE 2,0 METROS DE COMPRIMENTO (UM MÓDULO POR VIA)<br>..... | 66        |
| 5.2.2. CENÁRIO COM DUAS VIAS.....                                                                    | 67        |
| 5.2.2.1. Cenário 1: módulos de 2,0x3,0 metros (um módulo por via).....                               | 67        |
| 5.2.2.2. Cenário 2: módulos de 1,6x3,0 metros (dois módulos por via) .....                           | 68        |
| <b>5.3. PROJETOS TÉCNICOS AUXILIARES.....</b>                                                        | <b>69</b> |
| 5.3.1. CENÁRIO BASE: TRÊS VIAS COM MÓDULOS DE 2,0 METROS DE COMPRIMENTO (UM MÓDULO POR VIA)<br>..... | 70        |

|                                                                                                                                                             |               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 5.3.1.1. Projeto de instalação civil .....                                                                                                                  | 70            |
| 5.3.1.2. Projeto de instalação elétrica .....                                                                                                               | 71            |
| 5.3.1.3. Projeto de sinalização .....                                                                                                                       | 72            |
| 5.3.2. CENÁRIOS COM DUAS VIAS: CENÁRIO 1 (MÓDULOS DE 2,0x3,0 METROS- UM MÓDULO POR VIA) E CENÁRIO 2 (MÓDULOS DE 1,6x3,0 METROS- DOIS MÓDULOS POR VIA) ..... | 73            |
| 5.3.2.1. Projeto de instalação civil .....                                                                                                                  | 73            |
| 5.3.2.2. Projeto de instalação elétrica .....                                                                                                               | 74            |
| 5.3.2.3. Projeto de sinalização .....                                                                                                                       | 75            |
| <b>5.4. VIABILIDADE TÉCNICA .....</b>                                                                                                                       | <b>75</b>     |
| <br><b>6. CONCLUSÕES .....</b>                                                                                                                              | <br><b>81</b> |
| <b>6.1. CONCLUSÕES FINAIS .....</b>                                                                                                                         | <b>81</b>     |
| <b>6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....</b>                                                                                                                  | <b>82</b>     |
| <br><b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                                                                                                 | <br><b>83</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR .....</b>                                                                                                                      | <b>85</b>     |
| <b>ANEXOS .....</b>                                                                                                                                         | <b>93</b>     |
| ANEXO A- FICHA DE DADOS DO PRODUTO: <i>SIKA FASTFix-138 TP</i> .....                                                                                        | 93            |
| ANEXO B- PROJETO DE INSTALAÇÃO: TESTE PILOTO <i>NEXT-ROAD</i> .....                                                                                         | 97            |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Sistema aplicado numa via com tráfego de pesados nos Países Baixos desenvolvido pela <i>SolaRoad</i> - <i>SolaRoad</i> .....                                                           | 7  |
| Figura 2 - Pormenor da instalação do protótipo da <i>SolaRoad</i> - <i>SolaRoad</i> .....                                                                                                         | 7  |
| Figura 3 - Sistema desenvolvido pela <i>Solar Roadways</i> , instalado para uso pedestre- <i>Solar Roadways</i> .....                                                                             | 8  |
| Figura 4 - Prototipagem da <i>Wattway</i> instalado num parque de estacionamento exterior na França- <i>Wattway</i> .....                                                                         | 9  |
| Figura 5 - Processo de instalação do sistema <i>Pavegen</i> num passeio em Londres- <i>Pavegen</i> .....                                                                                          | 10 |
| Figura 6 - Pormenor da instalação do sistema da <i>Innowatech</i> numa via rodoviária- <i>Innowatech</i> .....                                                                                    | 10 |
| Figura 7 - Protótipo desenvolvido pela <i>Energy Intelligence</i> - <i>Energy Intelligence</i> .....                                                                                              | 11 |
| Figura 8 - Pormenor na colocação de um dos módulos <i>Smart Pavement</i> em Denver, Colorado- <i>Integrated Roadways</i> .....                                                                    | 11 |
| Figura 9 - Bobinas, criadas pela <i>Electreon</i> , prontas a serem revestidas pela camada superficial do pavimento- <i>Electreon</i> .....                                                       | 12 |
| Figura 10 - Instalação do sistema <i>Flex-Drempel</i> - <i>Total Technical Solutions</i> .....                                                                                                    | 13 |
| Figura 11 - Momento em que o BIV atua em presença de veículos que respeitam o limite de velocidade- <i>Badennova</i> .....                                                                        | 13 |
| Figura 12 - Protótipo da <i>SmartBump</i> instalada no país de origem- <i>SmartBump</i> .....                                                                                                     | 14 |
| Figura 13 - Instalação do <i>Tope Inteligente</i> num ambiente relevante, antes duma passeadeira, no México- <i>Inteligencia Vial</i> .....                                                       | 14 |
| Figura 14 - Solução final da instalação do sistema <i>Tope Inteligente</i> - <i>Inteligencia Vial</i> .....                                                                                       | 15 |
| Figura 15 - Representação CAD do pormenor da instalação no pavimento rodoviário do protótipo <i>Actibump</i> - <i>Edeva</i> .....                                                                 | 15 |
| Figura 16 - Sistema <i>Actibump</i> implementado na cidade de Malmö, Suécia- <i>Edeva</i> .....                                                                                                   | 16 |
| Figura 17 - Sistema <i>Vivadén</i> antes de ser instalado no pavimento- <i>Moviva</i> .....                                                                                                       | 16 |
| Figura 18 - Lomba inteligente <i>SpeedTrap</i> instalada no México- <i>SpeedTrap</i> .....                                                                                                        | 17 |
| Figura 19 - Teste piloto com a carga máxima por eixo permitida pela normativa italiana, que executa a frenagem de emergência acima da instalação do <i>Lybra</i> - <i>Underground Power</i> ..... | 17 |
| Figura 20 - Proposta de instalação do sistema <i>Lybra</i> - <i>Underground Power</i> .....                                                                                                       | 18 |
| Figura 21 - Célula onde se localiza o sistema eletromecânico do módulo desenvolvido pela <i>Pavnext</i> .....                                                                                     | 19 |
| Figura 22 - Sistema modular tipo (versão da caixa de betão armado) desenvolvido pela <i>Pavnext</i> , no formato CAD.....                                                                         | 20 |
| Figura 23 - Sistema modular tipo (versão da estrutura metálica) desenvolvido pela <i>Pavnext</i> , no formato CAD .....                                                                           | 20 |

|                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 24 - Representação da marca rodoviária que indica o desnível de uma LRV, M11a no Regulamento de Sinalização do Trânsito.....                      | 28 |
| Figura 25 - Sinalização vertical que indica a passagem de peões, H7 no Regulamento de Sinalização do Trânsito.....                                       | 29 |
| Figura 26 - Marcadores rodoviários do tipo SR-45 da SERNIS.....                                                                                          | 30 |
| Figura 27 - Exemplo de aplicação do sistema <i>NEXT-Road</i> numa das vias, no formato CAD.....                                                          | 37 |
| Figura 28 - Exemplos de aplicação do sistema <i>NEXT-Road</i> em vias de sentido contrário, no formato CAD .....                                         | 37 |
| Figura 29 - Protótipo da <i>Pavnext</i> instalado numa via interna na CMM.....                                                                           | 39 |
| Figura 30 - Interior do suporte do protótipo da <i>Pavnext</i> após um ano e quatro meses de instalado ...                                               | 40 |
| Figura 31 - Peça de suporte correspondente à caixa de betão, no formato CAD .....                                                                        | 41 |
| Figura 32 - Vista lateral do módulo tipo na versão 1 (caixa de betão), no formato CAD.....                                                               | 41 |
| Figura 33 - Caracterização do efeito da distribuição das cargas na ligação do sistema implantado num pavimento flexível .....                            | 42 |
| Figura 34 - Peça de suporte correspondente à estrutura metálica, no formato CAD .....                                                                    | 43 |
| Figura 35 - Estrutura metálica com as células geradoras de energia, no formato CAD.....                                                                  | 44 |
| Figura 36 - Vista lateral do módulo tipo na versão 2 (estrutura metálica), no formato CAD.....                                                           | 45 |
| Figura 37 - Análise trigonométrica de uma tubagem com seção circular com 3/4 da seção cheia.....                                                         | 47 |
| Figura 38 - Demonstração gráfica da argamassa de endurecimento rápido para selagem e fixação em pavimentos rodoviários <i>FastFix-138 TP- Sika</i> ..... | 51 |
| Figura 39 - Sinalização vertical que indica a aproximação ao sistema <i>NEXT-Road</i> .....                                                              | 53 |
| Figura 40 - Painel informativo que acompanha o sinal vertical da <i>Pavnext</i> .....                                                                    | 53 |
| Figura 41 - Pormenor da marcação do corredor central destinada aos motociclos.....                                                                       | 54 |
| Figura 42 - Figura representativa das marcas rodoviárias.....                                                                                            | 54 |
| Figura 43 - Localização de projeto piloto em Matosinhos- <i>Google Maps</i> .....                                                                        | 64 |
| Figura 44 - Local de instalação do projeto piloto em Matosinhos, no sentido do trânsito, depois da primeira passadeira .....                             | 64 |
| Figura 45 - Local de instalação do projeto piloto em Matosinhos, no sentido oposto ao trânsito, depois da segunda passadeira .....                       | 64 |
| Figura 46 - Descrição do local e dos elementos existentes .....                                                                                          | 65 |
| Figura 47- Perfis longitudinal e transversal do local.....                                                                                               | 65 |
| Figura 48 - Painéis informativos propostos à CMM, que acompanha o sinal vertical da <i>Pavnext</i> .....                                                 | 66 |
| Figura 49 - Cenário Base: três vias com módulo de 2,0x3,0 m por via .....                                                                                | 66 |
| Figura 50 - Perfis longitudinal e transversal do Cenário Base .....                                                                                      | 67 |
| Figura 51 - Cenário 1: duas vias com módulos de 2,0x3,0 m .....                                                                                          | 67 |

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 52 - Perfis longitudinal e transversal do Cenário 1 .....                                        | 68 |
| Figura 53 - Cenário 2: duas vias com módulos de 1,6x3,0 m (dois módulos por via) .....                  | 68 |
| Figura 54 - Perfis longitudinal e transversal do Cenário 2 .....                                        | 68 |
| Figura 55 - Projeto de instalação civil do Cenário Base .....                                           | 70 |
| Figura 56 - Projeto de instalação elétrica do Cenário Base.....                                         | 71 |
| Figura 57 - Projeto de sinalização do Cenário Base .....                                                | 72 |
| Figura 58 - Projeto de instalação civil dos Cenários com duas vias.....                                 | 73 |
| Figura 59 - Projeto de instalação elétrica dos Cenários com duas vias .....                             | 74 |
| Figura 60 - Projeto de sinalização dos Cenários com duas vias .....                                     | 75 |
| Figura 61 - Pormenor da nova proposta da marcação do corredor central destinada aos motociclos .        | 76 |
| Figura 62 - Figura representativa da nova proposta das marcas rodoviárias .....                         | 76 |
| Figura 63 - Representação final da implementação do projeto piloto verificado e aprovado pela CMM ..... | 77 |
| Figura 64 - Projeto de instalação civil final do projeto piloto .....                                   | 77 |
| Figura 65 - Projeto de instalação elétrica final do projeto piloto .....                                | 78 |
| Figura 66 - Projeto de sinalização final do projeto piloto .....                                        | 79 |



## ÍNDICE DE TABELAS

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Síntese comparativa das diferentes tipologias de sistemas semelhantes ao sistema em estudo.....                    | 22 |
| Tabela 2 - Normas aplicadas ao pavimento.....                                                                                 | 24 |
| Tabela 3 - Normas aplicadas à peça de suporte dos módulos.....                                                                | 26 |
| Tabela 4 - Normas aplicadas ao sistema de drenagem.....                                                                       | 26 |
| Tabela 5 - Normas aplicadas à ligação módulo <i>Pavnext</i> -pavimento rodoviário.....                                        | 27 |
| Tabela 6 - Normas aplicadas aos equipamentos rodoviários.....                                                                 | 29 |
| Tabela 7 - Distância máxima entre o local de implantação das LRV e os dispositivos ou características da via- ANSR, 2007..... | 31 |
| Tabela 8 - Figuras representativas dos elementos do sistema <i>NEXT-Road</i> .....                                            | 38 |
| Tabela 9 - Propostas de ligação módulo <i>Pavnext</i> -pavimento rodoviário.....                                              | 50 |
| Tabela 10 - Equipamentos necessários para a implementação do sistema num pavimento existente.....                             | 61 |
| Tabela 11 - Síntese do plano de execução da instalação do teste piloto em Matosinhos.....                                     | 80 |



## SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

$A$  - Área a drenar em projeção horizontal [ $m^2$ ]

$S$  - Área da seção molhada [ $m^2$ ]

$Q$  - Caudal [ $m^3/s$ ]

$Q_{esp}$  - Caudal esperado [ $m^3/s$ ]

$Q_{máx}$  - Caudal máximo de cálculo [ $m^3/s$ ]

$C$  - Coeficiente de escoamento [adm]

$\phi$  - Diâmetro da tubagem [mm]

$i$  - Inclinação do coletor [m/m]

$I$  - Intensidade de precipitação [m/s]

$U$  - Velocidade de escoamento [m/s]

$R$  - Raio hidráulico [m]

$K_s$  - Coeficiente de Manning Strikler [ $m^{1/3}/s$ ]

CEN – Comité Europeu de Normalização

DEC - Departamento de Engenharia Civil

FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

INEM - Instituto Nacional de Emergência Médica

INES - Institut National de L'Energie Solaire

ISO - International Organization of Standardization

LED - Light Emitting Diode

NASA - National Aeronautics and Space Administration

SCRIM - Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine

USDOT - U.S (United States of America) Department of Transportation

TR - Technical Report

ANSR - Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária

BIV - Badén Inteligente de Velocidad

CAT - Coeficiente de Atrito Transversal

CMM - Câmara Municipal de Matosinhos

EN - European Norm

EP - Estradas de Portugal

ICS - International Classification for Standards

IM - Installation Method

IMT I.P. - Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P.

IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera

IPQ - Instituto Português da Qualidade

IRI - Índice de Irregularidade Longitudinal

LRV - Lomba(s) Redutora(s) de Velocidade

NP - Norma Portuguesa

PEH - Pavement Energy Harvesting

PP - Polipropileno

PEX - Polietileno Reticulado

PTV - Pendulum Test Value

PVC - Policloreto de vinilo

PVC-U - Policloreto de vinilo não plastificado

SRV - Sistemas Redutores de Velocidade

TRL - Technology Readiness Level

adm - Adimensional

p. ex. - Por exemplo



# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA

O entendimento da necessidade de reinvenção de novas tecnologias no setor da construção civil, especificamente na constituição das estradas, vai ganhando protagonismo nos dias de hoje. Não só as ferramentas que modernizam os processos e as metodologias na construção em si, mas também as tendências tecnológicas aplicadas ao setor vão incentivar o desenvolvimento das chamadas *smart cities*. A conjugação destes dois aspetos vai permitir uma ligação entre o setor da constituição das vias de comunicação com o mundo moderno e as novas tecnologias.

O conceito de *smart cities* tem sido introduzido recentemente com o objetivo de criar cidades sustentáveis e providenciá-las de infraestruturas que garantam um incremento de qualidade na vida dos cidadãos e da sua participação ativa, e de uma maior eficiência na gestão dos recursos disponíveis. Prevê-se que, para o ano de 2050, cerca de 68% da população mundial viva em cidades- *United Nations* (2018). Portanto, este facto faz com que nas próximas décadas os núcleos urbanos tenham de afrontar problemas relacionados com o abastecimento energético, emissões de  $CO_2$ , planeamento do tráfego rodoviário, fornecimento de matérias primas e prestação de serviços sanitários e de segurança para todos aqueles que residam nestas enormes metrópoles.

O modelo ideal das cidades inteligentes baseia-se, principalmente, na geração de eletricidade repartida pelo território através de um abastecimento individualizado e não centralizado. Consequentemente, de forma a reduzir os custos de transporte e distribuição da energia elétrica, é necessário aproveitar toda a energia que possa ser produzida no interior das cidades, próximo dos pontos de consumo. É aqui que os pavimentos desempenham um papel importante. Os pavimentos rodoviários “absorvem” a energia mecânica libertada pelos veículos que transitam neles, sendo que atualmente esta energia captada não é usada para nada, mas pode ser convertida em energia elétrica.

Recentemente, o conceito de *Energy Harvesting* tem tido maior relevância no mundo das energias renováveis, podendo ser descrito como a captação, conversão e armazenamento da energia através de diferentes fontes disponíveis na natureza, utilizando interfaces de captação e conversão, dispositivos de armazenamentos e outras unidades. Dito de forma simples, *Energy Harvesting* é a conversão da energia presente no ambiente em outros meios úteis de energia, como por exemplo, na energia elétrica- Ferreira *et al* (2015). A recolha e armazenamento de energia pode ser dividida em dois grupos, em função da origem da fonte de captação da energia: as macros (à grande escala), associadas à energia solar, eólica, hídrica e oceânica; e as micros (à pequena escala), associadas a variações eletromagnéticas, eletrostáticas, de calor, térmicas, vibrações mecânicas, acústicas e ao movimento do corpo humano.

Desse modo, de forma a complementar o desenvolvimento das cidades inteligentes e relacioná-lo com o conceito de recolha e armazenamento de energia, nasce o novo conceito de *Pavement Energy*

*Harvesting* (PEH), ligado à implementação de um sistema gerador de energia 100% renovável em pavimentos rodoviários.

Outro ponto importante relacionado com as cidades em desenvolvimento, é a segurança rodoviária, sendo que uma das principais causas de ocorrência de vítimas de acidentes é o excesso de velocidade, o que faz diminuir a hipótese de sobrevivência à medida que a velocidade aumenta- Carvalho (2019). Portanto, a incorporação dos sistemas redutores de velocidade na rede viária tem um papel importante no que respeita à qualidade de vida dos utilizadores. As Lombas Redutoras de Velocidade (LRV) são, de facto, a medida mais comum e utilizada que fazem com que, direta ou indiretamente, a velocidade dos veículos seja reduzida.

Em Portugal, foi desenvolvido um sistema de PEH, com tecnologia eletromecânica, que visa substituir as LRV de um modo mais eficiente, sendo que este faz reduzir a velocidade dos veículos, independentemente da decisão do condutor. Para além disso, serve para alimentar a iluminação nas proximidades através da colheita de energia, recolher dados do tráfego e monitorizar o sistema à distância.

## **1.2. OBJETIVOS**

Atendendo a que os sistemas de PEH são um conceito inovador e em desenvolvimento, é necessário analisar o ponto de vista da engenharia civil, a importância do cumprimento das etapas de um processo construtivo, de forma a otimizar, simplificar e normalizar o processo de implementação do dito sistema. Por isso, o presente estudo tem como objetivo principal desenvolver e analisar os métodos de instalação de um sistema de PEH em pavimentos rodoviários.

É, portanto, necessário investigar e analisar outras soluções de PEH existentes no mercado ou ainda em fase de desenvolvimento, alternativas à analisada no presente estudo, com foco nas suas características técnicas e nos métodos de aplicação no pavimento rodoviário. Para completar a apreciação das diferentes soluções de PEH, pretende-se ainda realizar a caracterização do sistema específico PEH desenvolvido pela empresa *Pavnext*.

Esta dissertação visa também estudar a viabilidade técnica segundo a legislação nacional e internacional. O enquadramento normativo em que se encontra o sistema PEH em estudo pretende normalizar, num futuro, a implementação dos sistemas PEH em pavimentos rodoviários, independentemente das características do local.

Através da elaboração do Projeto de Implementação, em que se visa uma instalação do sistema PEH de forma segura, rápida e eficaz, pretende-se desenvolver e modernizar a área da construção civil conforme um panorama sustentável e inovador.

Por outro lado, será realizada uma análise da viabilidade técnica da implementação de um projeto piloto num ambiente relevante. Para tal, será submetida a uma entidade pública a proposta de instalação do protótipo, identificando-se dessa forma o contexto normativo do método de instalação elaborado e dos restantes elementos que conformam o sistema PEH.

## **1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A presente dissertação começa com um capítulo introdutório, em que se apresenta os aspetos gerais, através de um breve enquadramento. Para além disso, são expostos neste primeiro capítulo, os objetivos

principais a serem cumpridos ao longo do estudo e a organização do trabalho. Esta dissertação está dividida em seis capítulos.

No segundo capítulo, são apresentadas em detalhe as diferentes soluções existentes de sistemas PEH. É ainda realizada a descrição pormenorizada do sistema PEH com foco no seu funcionamento. De seguida, apresenta-se uma síntese comparativa entre os sistemas existentes e o sistema em estudo.

Posteriormente, no terceiro capítulo, faz-se uma análise das normas técnicas que podem ser aplicadas aos sistemas de PEH, assim como o enquadramento normativo a que o sistema em estudo estará sujeito.

No capítulo quatro, será apresentado o Projeto de Implementação do sistema, incluindo o enquadramento do tema, através de uma breve descrição das etapas de um processo construtivo e da constituição dos pavimentos rodoviários. A descrição da proposta de implementação do sistema numa via existente, com a respetiva sinalização de trânsito, os projetos técnicos referentes ao protótipo e aos elementos que o acompanham, o processo de instalação e os documentos de comunicação, também entram neste capítulo. No final, será incluída a apresentação dos recursos necessários para a implementação do sistema num pavimento rodoviário.

No quinto capítulo, estará presente a proposta de implementação de um projeto piloto num ambiente real, em que serão apresentados os projetos técnicos auxiliares (ou peças desenhadas) necessários para a implementação do sistema no pavimento rodoviário. É ainda descrita a viabilidade técnica do dito projeto, incluindo acessibilidade da implementação de nova sinalização de trânsito.

Finalmente, serão dispostas as conclusões finais resultantes do desenvolvimento e da análise realizada durante a dissertação, seguido das perspetivas dos desenvolvimentos futuros.



# 2

## ESTADO DA ARTE

### 2.1. ENQUADRAMENTO

*Energy Harvesting* é um conceito que é utilizado para referir a recolha e armazenamento da energia gerada através de diferentes origens, em que a energia é recolhida e, posteriormente, convertida em energia elétrica. Considerando a classificação de tecnologias usadas em pavimentos rodoviários para fornecer a dita energia, segundo Harb (2011), temos o primeiro grupo que recolhe a energia proveniente da incidência dos raios solares na superfície do pavimento e o segundo grupo que usa a energia mecânica gerada através de cargas aplicadas ao pavimento proveniente dos veículos. Atualmente, existe um grande número de propostas inovadoras que promovem este conceito com a ideia de incentivar o desenvolvimento das *smart cities* e diminuir os efeitos negativos no meio ambiente que têm como consequência a produção de energia a partir de combustíveis fósseis.

Por outro lado, a criação de métodos para aumentar a segurança rodoviária tem sido um foco nos estudos recentes, em que os Sistemas Redutores de Velocidade (SRV) vêm se tornando um método eficiente. Um exemplo simples e conhecido por todo o mundo são as lombas. Neste trabalho foram divididos em duas classes: os SRV que atuam conforme o peso e a velocidade dos veículos e os SRV com tecnologia eletromecânica que atuam conforme a velocidade dos veículos e trabalham em conjunto com radares.

Finalmente, foram identificados os sistemas que abrangem estes dois conceitos e onde será apresentado o sistema com tecnologia eletromecânica *NEXT-Road* desenvolvido pela *Pavnext*.

Para comparar a escala das diferentes tecnologias e avaliar a maturidade de uma tecnologia em específico que está em desenvolvimento, recorreu-se à classificação TRL- *Technology Readiness Level*. A escala foi criada pela NASA- *National Aeronautics and Space Administration*- nos anos 1980's, e contempla nove níveis. O TRL leva uma determinada tecnologia desde os princípios básicos até à avaliação do conceito, passando pela validação dos elementos que o compõem, depois a demonstração do protótipo e, finalmente, à conclusão e às operações bem sucedidas da missão- Sauser *et al* (2006). Os níveis são definidos em seguida:

- TRL 1- Observação e registo dos princípios básicos;
- TRL 2- Conceito tecnológico e/ou aplicação formulada;
- TRL 3- Função crítica analítica e experimental e/ou prova do conceito caraterístico;
- TRL 4- Validação do componente e/ou equipamento em ambiente laboratorial;
- TRL 5- Validação do componente e/ou equipamento em ambiente relevante;
- TRL 6- Modelo de sistema/subsistema ou protótipo de demonstração em ambiente relevante (no solo ou no espaço);
- TRL 7- Demonstração do protótipo do sistema num ambiente espacial;

- TRL 8- Sistema completado e “qualificado para voo” através de testes e demonstração (no solo ou no espaço);
- TRL 9- Sistema “aprovado em voo” em operações de missões sucessivas.

Outro índice utilizado para a caracterização dos sistemas é o IM- *Installation Method*. Os diferentes dispositivos podem ser instalados no pavimento rodoviário usando diferentes técnicas e nas diferentes camadas do pavimento rodoviário- Duarte (2017). Apresenta-se quatro métodos diferentes caracterizados da seguinte maneira:

- IM 1- localizado na superfície do pavimento rodoviário, fixado na camada superior, em que o dispositivo se torna a nova superfície rodoviária;
- IM 2- embebido no pavimento rodoviário, na camada superior com a superfície exposta, onde o dispositivo se torna a nova superfície rodoviária;
- IM 3- embebido no pavimento rodoviário, na camada superior com a superfície coberta pelo material do pavimento rodoviário;
- IM 4- embebido no pavimento rodoviário, nas camadas inferiores com a superfície coberta pelo material do pavimento rodoviário.

Neste capítulo, serão apresentados os diferentes tipos de sistemas onde os objetivos de utilização, as tecnologias utilizadas e/ou os métodos de aplicação se assemelham ao sistema desenvolvido pela *Pavnext*. As primeiras propostas correspondem aos sistemas com recolha e armazenamento de energia, que se subdividem em tecnologia fotovoltaica e em outras tecnologias, tais como tecnologia eletromecânica, tecnologia piezoelétrica e sistema hidráulico. Seguidamente, apresentam-se os sistemas de pavimentos inteligentes, sendo estes importantes para a análise dos seus métodos de instalação. Os SRV são os seguintes a serem apresentados, sendo subdivididos dependendo da forma como o sistema é ativado: os que atuam conforme o peso e a velocidade do veículo e os que atuam conforme a velocidade do veículo com a utilização de radares. Depois, os sistemas com recolha e armazenamento de energia e redutores de velocidade serão caracterizados de forma a expor, finalmente, o sistema de *Energy Harvesting* para pavimentos rodoviários, desenvolvido pela *Pavnext*: o *NextRoad*.

## 2.2. SISTEMAS COM RECOLHA E ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

### 2.2.1. TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

A tecnologia fotovoltaica é a mais eficiente no que respeita à captação de energia solar. No entanto, a sua utilização não tem sido muito favorável nos pavimentos rodoviários, devido a que não assegura a aderência do veículo ao pavimento, que é uma condição básica de segurança- Duarte (2017). Seguidamente, serão apresentados alguns exemplos do uso desta tecnologia em iniciativas que foram ou estão a ser desenvolvidas.

Em primeiro lugar, encontram-se o *SolaRoad* e o *Solar Roadway*. O primeiro com método de instalação do tipo IM 2, isto quer dizer que a superfície do sistema entra diretamente em contacto com as rodas do veículo e que, ao contrário do segundo do tipo IM 1 que é fixado na camada superior do pavimento rodoviário, este encontra-se embebido no pavimento. Relativamente ao índice TRL, os dois estão no nível 6.

O *SolaRoad* consiste em painéis solares de grande dimensão, resistentes à derrapagem, assentes numa laje de betão com o principal objetivo de gerar eletricidade através da incidência dos raios solares, além de suportar as cargas dos pesados (Figura 1). Desde o ano 2014, a empresa holandesa dispõe de 4 projetos pilotos de ciclovias, situados na Holanda e na França, em que a energia capturada tem diferentes funções, tais como: iluminação pública, indústrias próximas, distribuição pela rede elétrica,

carregamento de bicicletas elétricas, telefones e tablets (com base no armazenamento num sistema formado por uma bateria e um ponto de recarga). Por outro lado, há projetos pilotos, desde o ano de 2019, em vias com tráfego de pesados e em linhas de autocarros com aproximadamente 100 m de comprimento, ainda a serem estudadas. As secções que constituem o sistema são instaladas no solo compacto de uma vala previamente escavada (Figura 2), sendo apenas necessário realizar a ligação entre os módulos. Um inconveniente do sistema é que exige uma intensa e constante manutenção e limpeza para poder garantir uma eficaz geração de energia, devido a que a sujidade interfere no seu funcionamento energético.



Figura 1 - Sistema aplicado numa via com tráfego de pesados nos Países Baixos desenvolvido pela SolaRoad- SolaRoad



Figura 2 - Pormenor da instalação do protótipo da SolaRoad- SolaRoad

Também com tecnologia fotovoltaica, os norte americanos Julie e Scott Brusaw, desenvolveram um sistema modular à base de painéis solares, engenhosamente estruturado para suportar as cargas do tráfego rodoviário, a ser implementado na superfície dos pavimentos, de forma a gerar energia limpa e renovável através da incidência dos raios solares. Este modelo, designado por *Solar Roadways* e apoiado pelo USDOT (*U.S Department of Transportation*), possui um sistema de aquecimento para evitar a formação de gelo e neve ocorrente em períodos de baixas temperaturas. Consequentemente, a eficiência do sistema é reduzida porque parte da energia é utilizada no processo de aquecimento. Além da geração de energia, este protótipo pode reproduzir mensagens editáveis através de luzes LED e recolher dados

de tráfego. Atualmente, existem projetos pilotos em pequena escala (Figura 3) que estão a ser estudados para o seu aperfeiçoamento e prosseguir, como o seu nome indica, com as estradas.



Figura 3 - Sistema desenvolvido pela *Solar Roadways*, instalado para uso pedestre- *Solar Roadways*

Ainda com tecnologia fotovoltaica, mas com um método de instalação diferente, encontram-se o *Wattway* e a proposta da empresa *Solmove*. Os sistemas são fixados na camada superficial do pavimento rodoviário correspondente ao IM 1.

Desde 2015, este sistema foi concebido através de um conjunto de parcerias como a estabelecida com a *Colas* - construtora de origem francesa, especialista em manutenção de infraestruturas rodoviárias – e com o INES (*Institut National de L'Energie Solaire* ou Instituto Nacional de Energia Solar) em França. O sistema chamado *Wattway*, com tecnologia fotovoltaica, tem sido estudado em aproximadamente 40 lugares, maioritariamente em ciclovias, pontos de recarga para veículos elétricos, passadeiras, pequenos segmentos de estradas (até cerca de 1 Km), e outros, como se pode ver na Figura 4. O seu nível de desenvolvimento encontra-se no TRL 7. Após a análise dos resultados obtidos, pode concluir-se que as previsões em relação à produção de energia não foram atingidas. Embora não seja a solução mais eficaz, a sua instalação é simples devido à sua reduzida espessura. Os painéis fotovoltaicos encontram-se na superfície do pavimento protegida por várias camadas de uma resina protetora, e, para a sua instalação, é apenas necessário um pequeno corte no pavimento para a colocação e distribuição dos respetivos cabos.



Figura 4 - Prototipagem da Wattway instalado num parque de estacionamento exterior na França- Wattway

A empresa alemã *Solmove* desenvolveu um sistema similar aos abordados anteriormente. Trata-se de módulos flexíveis dispostos na superfície do pavimento e que se ajustam ao terreno horizontal. Esta solução foi projetada para ser *self-cleaning* e escoar a água da chuva de forma eficaz. Esta empresa fabrica dois tipos de sistema: o *Voltstreet* (como produto principal), que pode ser utilizado em pavimentos rodoviários e noutros espaços de grande escala e o *Solwalk*, usado em passadeiras, ciclovias e praças; o primeiro é feito para veículos e o segundo para peões. Atualmente, situa-se no nível TRL 6 de maturidade. Para a instalação basta colá-lo ao pavimento existente com uma mistura de cimento própria para esta finalidade. Não obstante, um dos protótipos da gama *Solwalk* apresentou uma série de incêndios em meados do ano 2019, supostamente devido a uns curto-circuitos.

#### 2.2.2. OUTRAS TECNOLOGIAS

Outras soluções que incluem tecnologias com *Energy Harvesting* fazem parte desta secção. Os sistemas apresentam diferentes tipos de tecnologia, desde sistemas eletromecânicos até sistemas hidráulicos, mas com um fator em comum: a energia é convertida através do peso dos utilizadores.

A empresa inglesa *Pavegen* é reconhecida e utilizada, atualmente, por grandes marcas pioneiras como a *Samsung* e a *Google*. Sendo uma solução utilizada exclusivamente para os peões, tem como objetivo principal converter a energia cinética gerada pelos passos em energia distribuída pela rede elétrica; e também pode retirar informação útil através de aplicações para *smartphones* ou sistemas de gestão de dados. As instalações fornecem dados sobre quanta energia está sendo gerada e quando. Com sinais de *Bluetooth* de baixa potência, o sistema *Pavegen* também pode se comunicar com os usuários através dos seus *smartphones*, fornecendo dados valiosos de análise dos clientes por meio dum sistema de recompensas. Os módulos triangulares com sistema eletromecânico são instalados mediante a escavação de uma vala no passeio, onde são assentes os geradores de energia e protegidos com uma espécie de grelha, para depois colocar a superfície (Figura 5). Este sistema tem um índice IM 2. Embora não seja uma solução para o uso no pavimento rodoviário, o nível de desenvolvimento é o mais elevado, situando-se no último (TRL 9).



Figura 5 - Processo de instalação do sistema *Pavegen* num passeio em Londres- *Pavegen*

Outra solução para o sistema de *Energy Harvesting*, mas com tecnologia piezoelétrica, foi desenvolvida pela empresa *Innowattech*. Independentemente da sua saída no mercado laboral, a proposta da empresa israelita utiliza uns módulos que podem ser utilizados em pavimentos rodoviários e em caminhos de ferro e o seu nível de estudo chegou até o TRL 6. A sua implementação nas vias férreas é feita através da colocação dos módulos embebidos nas travessas de betão sob os carris. No que respeita às estradas, são efetuadas duas aberturas por cada faixa de rodagem nas camadas superficiais do pavimento de aproximadamente 20 cm de altura e 50 cm de largura, localizada onde passam as rodas dos veículos ao longo do pavimento (Figura 6). Depois do nivelamento e respetivo recobrimento do solo com uma camada de betão de presa rápida, são introduzidos os geradores a 5 cm da superfície existente. Posteriormente, os módulos são conectados entre eles e com o “armazenador” de energia e, finalmente, é asfaltado até atingir o nível inicial. Como é evidente, o método de instalação é do tipo IM 3.

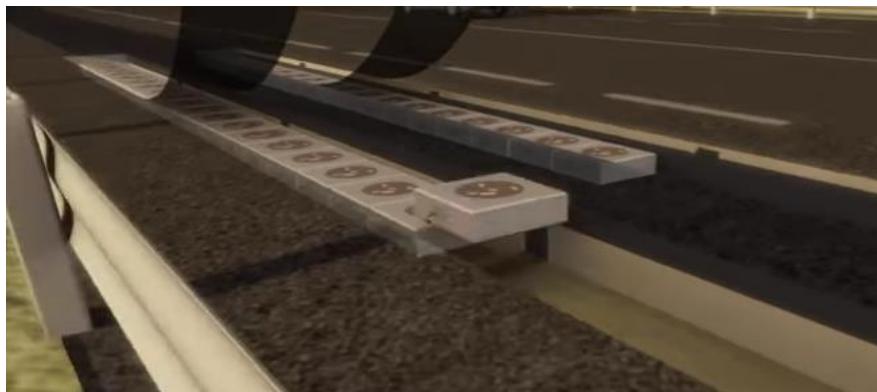


Figura 6 - Pormenor da instalação do sistema da *Innowattech* numa via rodoviária- *Innowattech*

A *Energy Intelligence*, criada pelo americano Daniel Shani, é uma espécie de tapete (Figura 7) que faz reduzir a velocidade gerando energia elétrica por meio da carga aplicada pelas rodas dos veículos. Baseado num sistema hidráulico, a proposta de forma compacta e plana tem aproximadamente 1,2 m de comprimento, 3,0 m de largura e 5,0 cm de altura, podendo pelo seu desenho modular ser conectados em série para formar um sistema com a escala pretendida. Devido à falta de informação, é desconhecida a sua utilização em espaços consideráveis e, por isso, o nível de desenvolvimento é igual a TRL 5. Nos componentes que têm sido experimentados, a instalação é feita mediante o aparafusamento do dispositivo diretamente ao pavimento, passando a ser a nova superfície do pavimento, portando um IM igual a 1.



Figura 7 - Protótipo desenvolvido pela *Energy Intelligence- Energy Intelligence*

### 2.3. SISTEMAS DE PAVIMENTOS INTELIGENTES

Os sistemas sem tecnologia de *Energy Harvesting* também estão a ser estudados para incentivar a criação e desenvolvimento das *smart cities*. Embora seja um conceito novo, as *smart roads* apresentadas seguidamente situam-se no nível TRL 5 de desenvolvimento. Assim, ainda que não apresentem recolha e armazenamento de energia, nem sejam sistemas redutores de velocidade, é importante salientar os métodos de instalação utilizados para a sua análise técnica.

A empresa americana *Integrated Roadways* criou este pavimento inteligente (*Smart Pavement*) com tecnologia digital e conectividade *wireless* que visa proporcionar aos condutores informação em tempo real sobre o tráfego, as condições da estrada ou os possíveis acidentes. Tem como objetivos para o futuro, a criação de uma tecnologia capaz de derreter a neve e o gelo da superfície do pavimento e o carregamento de veículos elétricos por indução eletromagnética. As secções são pré-fabricadas e têm como principal material o betão, é por isso que a empresa assegura que terá uma duração 4 vezes superior à dos pavimentos tradicionais. O sistema modular é instalado através duma série de protuberâncias que são engrenadas para assegurar uma melhor ligação lateral entre os dispositivos e a conectividade entre eles. Estes serão assentes sobre o solo devidamente compactado, após a colocação dos respetivos cabos, e passarão a ser a nova superfície do pavimento rodoviário, tendo um IM igual a 2 (Figura 8).



Figura 8 - Pormenor na colocação de um dos módulos *Smart Pavement* em Denver, Colorado- *Integrated Roadways*

*Electreon* é um sistema de carregamento *wireless* para veículos elétricos. A sua unidade de energia proporciona comunicação em tempo real com cada veículo e transmite a energia da rede elétrica à infraestrutura localizada por baixo do pavimento rodoviário. Esta empresa israelita é responsável pela construção da primeira estrada *wireless* para veículos elétricos do mundo, projeto que está a ser

desenvolvido na Suécia, chamado *Smartroad Gotland*. A implantação do sistema é realizada através de uma abertura feita no centro da faixa de rodagem, onde serão instaladas as bobinas assentes numa camada de areia compactada (Figura 9) e que, posteriormente, será repavimentada com mistura betuminosa, voltando a ter o mesmo aspeto inicial. É notório que o método de instalação deste sistema é igual a IM 3.



Figura 9 - Bobinas, criadas pela *Electreon*, prontas a serem revestidas pela camada superficial do pavimento-*Electreon*

## 2.4. SISTEMAS REDUTORES DE VELOCIDADE

### 2.4.1. ATUAM DE ACORDO COM O PESO E A VELOCIDADE DO VEÍCULO

Os sistemas redutores de velocidade que atuam conforme o peso e a velocidade do veículo situam-se no nível TRL 7. Embora não seja uma solução tradicional, o seu objetivo é claro: causar um impacto visual no condutor e físico no veículo, que faça diminuir a velocidade de circulação.

Por um lado, está o *Flex-Drempel*. Foi desenvolvido pela empresa holandesa *Total Technical Solutions* e consiste numa lombagem flexível e móvel que atua conforme o peso dos veículos que circulam sobre ele. Para além da segurança rodoviária, tem como principal objetivo limitar a velocidade dos veículos leves e no caso do tráfego de pesados, como por exemplo autocarros e camiões de bombeiros, a placa da estrada fica quase plana. O sistema, com índice de instalação igual IM 2, é pré-fabricado e embebido numa caixa de betão armado, sendo a integração realizada através de um corte relativamente profundo no pavimento. De seguida, coloca-se uma camada de areia e, após a sua compactação, é colocado o sistema que está embebido numa caixa de betão armado, como mostra a Figura 10.



Figura 10 - Instalação do sistema *Flex-Drempel*- Total Technical Solutions

Neste sentido, apresenta-se a lombagem inteligente de origem espanhola que é composta por um fluido não newtoniano e que atua de acordo com a velocidade do veículo. O *Badén Inteligente de Velocidad* (BIV), criado pela empresa *Badennova*, não oferece resistência aos veículos que circulam respeitando a velocidade indicada (Figura 11), mas, no caso contrário, atua como um obstáculo. No entanto, é um contratempo para os veículos de emergência- Carvalho (2019). O sistema é de aplicação simples e basta só ser aparafusado ao pavimento, tendo como método de instalação o IM 1.



Figura 11 - Momento em que o BIV atua em presença de veículos que respeitam o limite de velocidade- *Badennova*

#### 2.4.2. ATUAM CONFORME A VELOCIDADE DO VEÍCULO (SISTEMA ELETROMECÂNICO COM UTILIZAÇÃO DE REDARES)

O segundo aspeto relativo aos sistemas redutores de velocidade está relacionado com tecnologia eletromecânica. Os métodos de instalação que serão apresentados traduzem-se como IM 2, quer dizer, são dispositivos embebidos na camada superficial do pavimento rodoviário, passando a ser a nova área de contacto com as rodas dos veículos.

Na Macedónia do Norte foi criado o *SmartBump*, uma lombagem inteligente composta por um sistema eletromecânico (Figura 12). Embora não exista muita informação sobre as especificidades do sistema, o seu fundamento é simples: a lombagem ativa-se quando a velocidade com que o veículo circula é superior

à permitida e, no caso contrário, mantém-se na horizontal sem influenciar na passagem do carro. Segundo as últimas atualizações do protótipo, o seu nível de desenvolvimento é equivalente ao TRL 6. A implantação, como já foi referida, é realizada a través de um corte do pavimento, onde é introduzido o sistema.



Figura 12 - Protótipo da *SmartBump* instalada no país de origem- *SmartBump*

A empresa mexicana, *Inteligencia Vial*, é a responsável pelo desenvolvimento de uma lombã inteligente que trabalha em conjunto com uma série de radares que detetam os veículos que circulam respeitando o limite de velocidade permitido na zona, baixando o dispositivo ao nível do solo para eles, mas deixando-o elevado para aqueles que não cumpram com o dito limite. Em zonas escolares, o *Tope Inteligente* mantém-se elevado durante os períodos de entrada e saída do recinto; e no que resta do dia, aos fins de semana e dias festivos, funciona normalmente. Para além dos radares medidores de velocidade, o dispositivo vem acompanhado de um semáforo iterativo que irá informar o estado da lombã: amarelo indica que está ativa e verde que está inativa. Com este sistema não basta travar poucos metros antes da lombã, portanto, obriga a respeitar a velocidade ao longo da via. O sistema deste protótipo foi demonstrado num ambiente relevante, por tanto, a sua posição atual figura no TRL 7. A instalação do dispositivo pré-fabricado, que vem imerso numa estrutura metálica, é feita através de uma abertura relativamente profunda no pavimento, em que as paredes da vala serão revestidas por betão, sendo seguidamente, colocado e fixado na estrada (Figura 13). Num dos lados da vala haverá um espaço extra para facilitar a instalação e a manutenção que, posteriormente, será protegido por uma chapa do tipo xadrez de alumínio (material utilizado na estrutura em que se encontra o dispositivo também), como é mostrado na Figura 14.



Figura 13 - Instalação do *Tope Inteligente* num ambiente relevante, antes duma passeadeira, no México- *Inteligencia Vial*



Figura 14- Solução final da instalação do sistema *Tope Inteligente- Inteligencia Vial*

Criada pela empresa sueca *Edeva*, o *Actibump* é um dispositivo que se diferencia dos restantes pelo facto de ser uma lomba invertida. Isto quer dizer que o funcionamento da lomba é o oposto ao das lombas tradicionais, ou seja, o desconforto é sentido por uma cavidade gerada pelo sistema, contrariamente ao das lombas conhecidas, sendo este sentido por uma saliência no pavimento. É ativado quando a velocidade do veículo é ultrapassada pela permitida, criando um desnível de aproximadamente 6 cm no pavimento. Caso o veículo respeite o limite da velocidade, não irá sentir nenhum incómodo. O sistema com tecnologia eletromecânica funciona com a implementação de radares ou tapetes que medem a velocidade do veículo e com um *software* capaz de gerar informação e dados sobre o tráfego e os veículos. De acordo com o *upgrade* da empresa, o sistema encontra-se na fase TRL 7. O sistema pré-fabricado e embebido numa caixa de betão armado é instalado através de uma vala de forma trapezoidal feita no pavimento (Figura 15). Depois, o dispositivo e o tapete medidor de velocidade são ligados à unidade de controlo através de cabos e a ligação com o sistema de drenagem local através de tubagens. O passo a seguir é a integração da lomba no pavimento, sendo esta embebida com mistura betuminosa (Figura 16). A manutenção é feita por meio de um equipamento criado especialmente para tal objetivo.

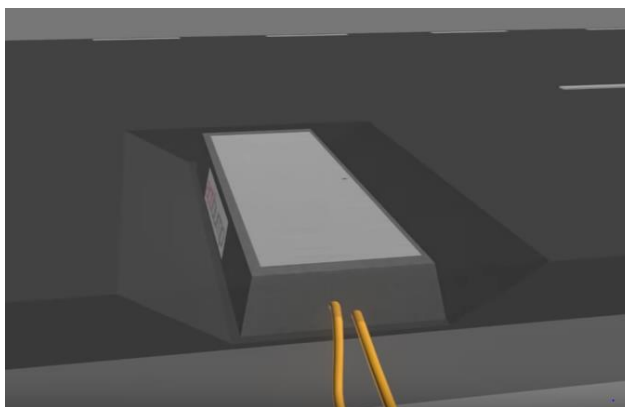


Figura 15 - Representação CAD do pormenor da instalação no pavimento rodoviário do protótipo *Actibump-Edeva*



Figura 16 - Sistema Actibump implementado na cidade de Malmö, Suécia- Edeva

O *Vivadén* foi desenvolvido pela empresa espanhola *Moviva* e trata-se de um dispositivo móvel que é ativado quando o condutor não respeita o limite de velocidade imposto, e que pode ser programável por discriminação horária nos casos, por exemplo, das horas de entrada e saída das escolas ou para que se mantenha oculto ao passo dos veículos de serviço como ambulâncias ou polícias. A caixa do dispositivo tem menos de 20 cm de altura, 60 cm de largura e um comprimento que pode ir dos 3 aos 11,4 m, pelo que pode ser instalado em diferentes larguras de estrada (Figura 17). Por outro lado, a altura da lomba quando é ativada é de 7cm e pode ser colocado em calçadas e pavimentos flexíveis. Tal como as propostas anteriores, a sua maturidade corresponde ao nível TRL 7. A sua instalação realiza-se por meio da escavação de uma vala que, posteriormente, é embebida com o material atual da estrada que consiga suportar e proteger o sistema hidráulico: no caso dos pavimentos flexíveis com mistura betuminosa e no caso das calçadas através de paralelepípedos de pedra junto com agregado fino nas juntas, voltando a ter a textura do pavimento existente.

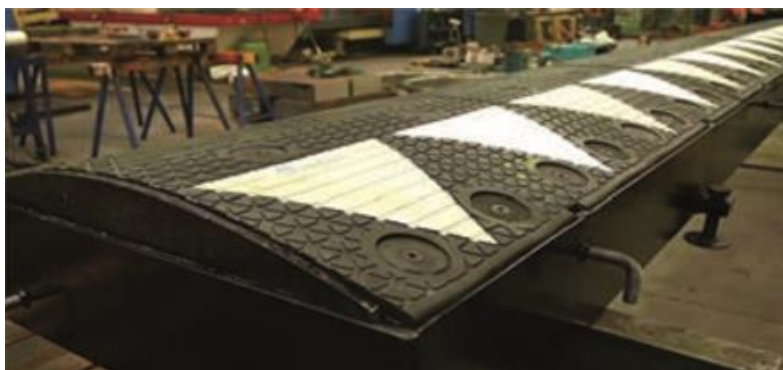


Figura 17- Sistema Vivadén antes de ser instalado no pavimento- Moviva

## 2.5. SISTEMAS COM RECOLHA/ ARMAZENAMENTO DE ENERGIA E REDUTORES DE VELOCIDADE

Finalmente, as únicas empresas a desenvolver uma proposta com objetivos semelhantes à que está a ser estudada neste trabalho, o *NEXT-Road* da *Pavnext*, serão apresentadas nesta secção. A primeira encontra-se numa fase ainda prematura, dispondo só de demonstrações de componentes do protótipo em ambientes relevantes, é por isso que o seu nível de evolução corresponde ao TRL 5. Por outro lado, e com um nível de desenvolvimento maior, está o *Lybra*, com TRL 7. O método de instalação a ser aplicado neste tipo de sistemas com recolha e armazenamento de energia e redutores de velocidade é representado pelo IM 2.

De origem mexicano, o *SpeedTrap* é uma lombra inteligente que atua conforme a velocidade em que o veículo transita por cima do sistema. Embora não exista muita informação sobre os protótipos testados, há um projeto chamado *SpeedEnergy* ligado ao anterior, que trata de um sistema de geração de energia em zonas de alto tráfego. O redutor de velocidade inteligente é desativado na passagem de veículos que circulem respeitando o limite de velocidade; no caso contrário, a lombra fica ativa sendo um obstáculo-  
Almeida (2019). Devido à falta de informação sobre a instalação, conclui-se apenas com base nas imagens que o sistema deve ser implementado por meio de um corte no pavimento (Figura 18).



Figura 18 - Lombra inteligente *SpeedTrap* instalada no México- *SpeedTrap*

Na Itália, a companhia *Underground Power* está a desenvolver um produto chamado *Lybra* capaz de recolher, armazenar e distribuir energia, assim como também reduzir a velocidade dos veículos. Este dispositivo com tecnologia eletromecânica e sistema de *Energy Harvesting* é capaz de recuperar a energia cinética dos veículos quando travam e transformá-la em energia elétrica. Sendo um sistema plano e flexível, cada módulo tem 1,0 m de largura e 3,0 m de comprimento, e pode ser instalado em sequência de modo a formar uma plataforma com o comprimento desejado (Figura 19). O último protótipo instalado está a ser estudado numa via com portagem numa autoestrada italiana. Posteriormente, terão de ser analisados os resultados para poder serem aplicados nas outras estações com portagens. Embora não haja informação sobre a sua instalação e demais detalhes, assume-se que é necessário escavar uma vala no pavimento rodoviário para introduzir o sistema que ficará nivelado com a estrada (Figura 20).



Figura 19 - Teste piloto com a carga máxima por eixo permitida pela normativa italiana, que executa a frenagem de emergência acima da instalação do *Lybra*- *Underground Power*



Figura 20 - Proposta de instalação do sistema Lybra- Underground Power

## 2.6. SISTEMA DE PAVEMENT ENERGY HARVESTING: NEXT- ROAD

Após a descrição do contexto sobre os sistemas de recolha e armazenamento de energia e os sistemas redutores de velocidade existentes, apresenta-se o sistema com patente nacional e internacional *NEXT-Road*, desenvolvido pela empresa *Pavnex*. Tipicamente, este tipo de sistemas possuem os seguintes componentes: uma superfície que recebe energia dos pneus dos veículos e envia essa energia para o sistema de transmissão; um sistema que transmite energia desde a superfície até uma unidade de geração elétrica; e uma unidade elétrica que converte a energia mecânica em energia elétrica, transmitindo-a para aplicações elétricas- Duarte *et al* (2018).

Após um estudo exaustivo com diferentes propostas, o autor do *NEXT-Road* chegou à conclusão de que a utilização de um sistema eletromecânico seria a forma mais eficiente para o seu funcionamento, em termos de conversão energética. É apresentada de seguida uma descrição sucinta do seu funcionamento:

- Na passagem do veículo, a roda do carro faz descer a tampa do sistema que tem uma forma ligeiramente inclinada, a qual tem um movimento linear na direção vertical;
- A tampa induz um deslocamento nos componentes "sliders" (ou patins) através de um conjunto de bielas, convertendo o movimento linear vertical da tampa num movimento linear horizontal nos patins;
- Os patins acionam um conjunto de cremalheiras, com movimento linear horizontal;
- As cremalheiras, que estão acopladas aos patins, acionam um pinhão (ou roda dentada) com um movimento rotacional, cuja função é amplificar a velocidade angular; este pinhão, por sua vez, está diretamente ligado a um veio;
- Este veio aciona o gerador eletromagnético, que transforma a energia mecânica transmitida pelo sistema mecânico em energia elétrica.

Cada célula que constitui o sistema modular tem uma dimensão de 120x35 cm e uma altura de 15 cm, sendo que o uso de materiais leves, especialmente de plástico e de alumínio, é fundamental para o funcionamento deste protótipo (Figura 21). Na parte superior, localiza-se uma tampa ligeiramente inclinada, cujo ponto mais alto está a 2,5 cm da célula e do nível do pavimento - isto quer dizer que o sistema se encontra totalmente embebido no pavimento e é a única peça saliente do sistema. A roda do veículo entra diretamente em contacto com este componente e, à medida que a roda passa, a tampa do sistema tem um movimento linear vertical para a ativação do sistema. Os elementos do sistema mecânico foram desenhados para que cada módulo consiga suportar a passagem de veículos pesados, de aproximadamente 10 toneladas por eixo, com um fator de segurança de 1.5- Duarte (2017). O deslocamento máximo da tampa é de 2,5 cm, ou seja, igual à sua altura máxima, pelo que, quando esta atinge o seu deslocamento máximo, a sua extremidade está ao nível do pavimento.



Figura 21 - Célula onde se localiza o sistema eletromecânico do módulo desenvolvido pela Pavnext

Imediatamente após a passagem da roda do veículo, atuam um conjunto de molas que fazem restabelecer a posição inicial da tampa de borracha (material ideal para garantir uma boa ligação pneu-tampa), com ajuda de uma série de guias verticais para evitar desvios na translação vertical da célula. Tendo em vista isto, podemos classificar o IM como o número 2, sendo um sistema incorporado na camada superior do pavimento da estrada, em que a superfície do dispositivo se torna a nova superfície da estrada.

Para assegurar uma redução gradual na velocidade dos veículos através da absorção da energia mecânica e para evitar que as células estejam em contacto direto com o solo, propõe-se que a sua implementação seja feita através duma peça de suporte. Posteriormente, serão apresentadas duas versões de modo a comparar os prós e os contras de cada uma delas (sendo a primeira versão uma caixa de betão armado com dimensão exterior igual a 2,0x3,0 m (Figura 22) e a segunda versão uma estrutura metálica de aproximadamente 1,8x2,8 m (Figura 23)). A distribuição das células em cada módulo faz-se da seguinte maneira: 5 células consecutivas de um lado da faixa de rodagem e 5 células consecutivas do lado contrário, criando uma extensão de 1,8 m de comprimento (mesmo comprimento que a estrutura metálica) com um pequeno espaço entre cada célula da fila. Entre cada fila de células existirá um espaço de 0,4 m correspondente ao corredor central, concebido para veículos de duas rodas, onde se encontrará (por baixo deste corredor) a passagem dos cabos necessários para o seu funcionamento, tendo assim um total de 2,8 m de largura do módulo (mesma largura que a estrutura metálica). A razão pela qual se chegou a esta hipótese de solução foi para que, de uma forma simples, os módulos conseguissem ser transportados até o local da instalação e para que o sistema fosse o mais plano possível, para evitar ter de escavar uma vala de grande profundidade no pavimento. É de salientar que, posteriormente, irá ser apresentado ao pormenor cada versão no Projeto Técnico da peça de suporte (4.3.1), sendo este um preâmbulo a considerar como uma primeira visão geral do sistema *Energy Harvesting*.



Figura 22 - Sistema modular tipo (versão da caixa de betão armado) desenvolvido pela Pavnext, no formato CAD

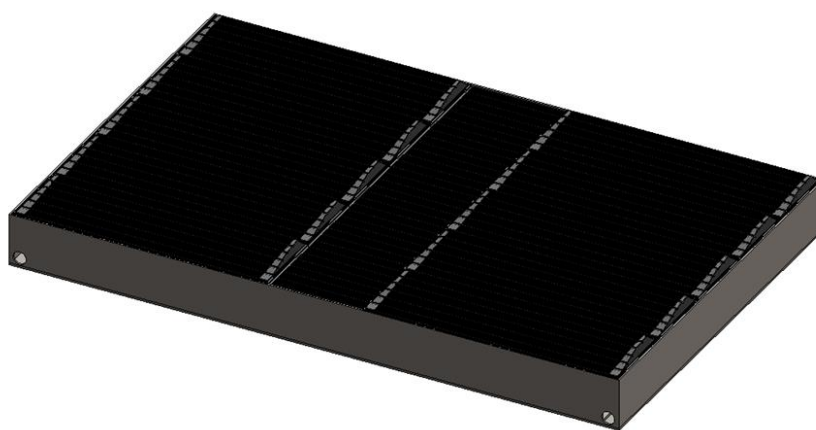


Figura 23 - Sistema modular tipo (versão da estrutura metálica) desenvolvido pela Pavnext, no formato CAD

As paredes interiores da peça de suporte são revestidas (ou feitas, no caso da estrutura metálica) por uma lâmina de aço de 15 cm de altura (mesma altura das células sem a tampa de borracha), sendo que a espessura da lâmina pode ser de 8 ou 10 mm, dependendo da posição da mesma. As células são fixas à estrutura através de uma espécie de dentes, embutidos na dita lâmina de aço (para apoio exterior das células), e de uma placa metálica aparafusada na parte central da caixa que permite ajustá-las conforme a folga desejada (para aperto interior das células). Para além deste detalhe, o uso de cortiça no interior das células, entre as componentes que a conformam, tem como principal objetivo proteger as células das vibrações a que estarão expostas e, consequentemente, do ruído produzido por este fenómeno.

Por meio de sensores e outros componentes eletrónicos instalados no interior do corredor central, será possível recolher dados do tráfego e monitorizar o sistema à distância. Por outro lado, o sistema é capaz de recolher uma série de dados que poderão ser vantajosos, por exemplo, para indicar a presença de possíveis defeitos no equipamento. Dados como o número de veículos que passam pelo sistema, o peso e a velocidade à entrada e saída do sistema de cada veículo, são grandezas medidas através da descida da tampa. Enquanto que no que respeita à eficiência, a energia gerada e armazenada serão os dados mais pertinentes recolhidos pelo sistema.

A instalação completa do sistema *NEXT-Road* envolve outras componentes que incluem já a sinalização do sistema, nomeadamente: sinalização vertical, sinalização horizontal luminosa ou marcadores rodoviários, sensor de peões, marcação no pavimento rodoviário, quadro elétrico e sistema de cablagem. É imprescindível que a sinalização de trânsito necessária para complementar a instalação do sistema PEH seja analisada enquanto à viabilidade técnica e normativa de cada um dos elementos que o conformam. Atualmente, o *NEXT-Road* apresenta um nível de TRL igual a 6.

## 2.7. SÍNTESE COMPARATIVA

Com a necessidade de conhecer melhor as propostas que se assemelham de alguma forma ao sistema *NEXT-Road*, foram analisadas de maneira a perceber melhor os seus métodos de instalação traduzidos pelo indicador IM, o seu nível de desenvolvimento através do índice TRL, se continuam ou não no mercado e as vantagens e desvantagens dos seus protótipos.

Na realização deste estudo, surgiram algumas dificuldades no que respeita à recolha de informação devido à confidencialidade das empresas, facto que dificultou o acesso aos dados técnicos dos sistemas na maior parte dos casos. Apesar disto, percebeu-se que, em termos de objetivos principais, a empresa *Underground Power*, com o sistema *Lybra*, é o que mais se assemelha ao tratado neste trabalho.

Levando em consideração a explicação ao pormenor do sistema de *Energy Harvesting*, atual desenvolvido pela *Pavnext*, é de salientar que devemos considerá-lo como o ponto de partida em termos conceptuais para o que se pretende realizar. É de grande importância a realização de um projeto do ponto de vista da Engenharia Civil que cumpra com os requisitos técnicos para a sua validação.

Na Tabela 1 apresenta-se a síntese comparativa das medidas inovadoras em função da sua finalidade: com recolha e armazenamento de energia, os pavimentos inteligentes, os redutores de velocidade e os que têm recolha e armazenamento de energia e são redutores de velocidade.

Tabela 1 - Síntese comparativa das diferentes tipologias de sistemas semelhantes ao sistema em estudo

| Sistema                                                      | Tecnologia                                           | Empresa                   | País de origem            | Ano de criação | Continuação no mercado | IM | TRL |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|------------------------|----|-----|
| Recolha e armazenamento de energia                           | Tecnologia fotovoltaica                              | SolaRoad                  | Países Baixos             | 2009           | Sim                    | 2  | 6   |
|                                                              |                                                      | Solar Roadways            | Estados Unidos da América | 2009           | Sim                    | 1  | 6   |
|                                                              |                                                      | Wattway                   | França                    | 2014           | Sim                    | 1  | 7   |
|                                                              |                                                      | Solmove                   | Alemanha                  | 2017           | Sim                    | 1  | 6   |
|                                                              | Sistema eletromecânico                               | Pavagen                   | Reino Unido               | 2009           | Sim                    | 2  | 9   |
|                                                              | Tecnologia piezométrica                              | Innowatech                | Israel                    | 2007           | Não                    | 3  | 6   |
| Pavimentos inteligentes                                      | Sistema hidráulico                                   | Energy Intelligence       | Estados Unidos da América | 2011           | Sem informação         | 1  | 5   |
|                                                              | Sistema <i>wireless</i>                              | Integrated Roadways       | Estados Unidos da América | Sem informação | Sim                    | 2  | 5   |
|                                                              |                                                      | Electreon                 | Israel                    | 2013           | Sim                    | 3  | 5   |
| Redutores de velocidade                                      | Atuam de acordo com o peso e a velocidade do veículo | Total Technical Solutions | Países Baixos             | 2004           | Sim                    | 2  | 7   |
|                                                              |                                                      | Badenova                  | Espanha                   | 2012           | Sem informação         | 1  | 7   |
|                                                              | Sistema eletromecânico                               | SmartBump                 | Macedónia do Norte        | Sem informação | Sem informação         | 2  | 6   |
|                                                              |                                                      | Inteligencia Vial         | México                    | 2011           | Sim                    | 2  | 7   |
|                                                              |                                                      | Edeva                     | Suécia                    | Sem informação | Sim                    | 2  | 7   |
|                                                              |                                                      | Moviva                    | Espanha                   | 2014           | Sem informação         | 2  | 7   |
|                                                              |                                                      | SpeedTrap                 | México                    | 2015           | Sem informação         | 2  | 5   |
| Recolha e armazenamento de energia e redutores de velocidade |                                                      | Underground Power         | Itália                    | 2011           | Sim                    | 2  | 7   |
|                                                              |                                                      | Pavnext                   | Portugal                  | 2017           | Sim                    | 2  | 6   |

# 3

## ANÁLISE DE NORMAS TÉCNICAS

### 3.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA

Para conseguir a normalização deste produto, é fundamental que a pesquisa, a análise e a compreensão das normas existentes sejam um passo determinante no desenvolvimento deste projeto. Devido às diversas áreas em que se atua na implementação do sistema, neste subcapítulo apresentam-se as diferentes normas nacionais e internacionais mais compatíveis com as ditas áreas. Tendo isto em consideração, poderemos saber o que fazer em determinados aspetos da proposta de implementação do sistema apresentado anteriormente e, como consequência, ter um ponto de partida para criar uma proposta de uma nova norma que possa abranger os equipamentos de *Energy Harvesting* em pavimentos.

Desta forma, o capítulo inclui a apresentação das diferentes normas que poderão ser úteis antes ou depois da implantação do sistema, divididas nas seguintes áreas:

- Pavimento;
- Peça de suporte de cada módulo;
- Sistema de drenagem;
- Ligação módulo *Pavnext*-pavimento rodoviário;
- Equipamentos rodoviários.

As normas nacionais foram pesquisadas através do Catálogo de Documentos Normativos *on-line* do Instituto Português da Qualidade (IPQ), enquanto que as internacionais, através da *International Classification for Standards* (ICS) segundo a *International Organization of Standardization* (ISO). Serão apresentadas (em tabelas e por área de aplicação) as normas em vigor mais recentes e atualizadas, e as que estão neste momento em desenvolvimento.

Para além das normas nacionais e internacionais, a certificação e verificação regeram-se pelo Regulamento de Sinalização de Trânsito da Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR) e pelas Disposições Normativas publicadas pelo Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P. (IMT I.P.).

### 3.2. NORMAS EXISTENTES QUE PODEM SER APLICADAS AOS SISTEMAS DE *ENERGY HARVESTING*

#### 3.2.1. PAVIMENTO

Como qualquer novo projeto que deve seguir uma série de normas, o pavimento não é exceção e é de grande importância certificar alguns aspetos que podem ser subdivididos em dois grandes grupos. Em primeiro lugar, estão as normas referentes às características superficiais, especificamente o nível de

atrito que a superfície apresenta e que, de acordo com as normas CEN/TS 15901 e EN 13036, é definido através da determinação da resistência ao deslizamento ou derrapagem por meio de diferentes equipamentos ou pela medição de certos coeficientes. A drenabilidade horizontal da superfície do pavimento rodoviário é outra característica que se deve ter em conta e que o sistema deve apresentar, sendo o sistema um substituto da camada superficial da via. Para fins de projeto de instalação do sistema (especificamente no Estudo Prévio), é fundamental a caracterização da textura do pavimento através da especificação dos perfis de superfície e a sua análise espectral, como ditam as normas ISO 8349 e ISO 13473. Também, conforme às normas ISO 8002, ISO 8608 e ISO 14512, é possível verificar o atrito da superfície rodoviária desde o ponto de vista do veículo.

Outro ponto importante a ter em conta na certificação necessária aplicada ao pavimento é a influência da acústica. O nível de ruído emitido pelo tráfego de veículos mede-se através da sua influência na camada superficial do pavimento e das propriedades de absorção sonora da mesma, segundo as normas ISO 362, ISO 11819, ISO 13472 e ISO 16254. Em estudos anteriores a este, foram realizados testes de ruído que deverão ser reavaliados nos projetos pilotos futuros, mas a uma escala mais real e onde cumpram todos os requerimentos dispostos nas normas. Nesse sentido, foi medido também o coeficiente de atrito através do teste do Pêndulo Britânico conforme a norma EN 13036-4, podendo-se comprovar que o dito valor era 45 PTV (*Pendulum Test Value*), sendo o valor de referência em estradas igual a 50 PTV, estabelecido no Caderno de Encargos das Estradas de Portugal (EP, 2009).

Na Tabela 2, apresentam-se as normas que podem ser aplicadas ao pavimento, classificadas segundo as suas características superficiais e ao ruído.

Tabela 2 - Normas aplicadas ao pavimento

| Características superficiais                                                                                                      | Ruído                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CEN/TS 15901: <i>Road and airfield surface characteristics (15 parts)</i>                                                         |                                                                                                                                                          |
| EN 13036: Características da superfície da estrada e do aeródromo. Métodos de ensaios (8 partes)                                  | ISO 362: <i>Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles- Engineering method (3 parts)</i>                                                 |
| ISO 8002: <i>Mechanical vibrations- Land vehicles- Method for reporting measured data</i>                                         | ISO 11819: <i>Acoustics- Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise (4 parts)</i>                                                    |
| ISO 8608: <i>Mechanical vibration- Road surface profiles- Reporting of measured data</i>                                          | ISO 13472: <i>Acoustics- Measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ (2 parts)</i>                                               |
| ISO 8349: <i>Road vehicles- Measurement of road surface friction</i>                                                              | ISO 16254: <i>Acoustics- Measurement of sound emitted by road vehicles of category M and N at standstill and low speed operation- Engineering method</i> |
| ISO 13473: <i>Characterization of pavement texture by use of surface profiles (5 parts)</i>                                       |                                                                                                                                                          |
| ISO 14512: <i>Passenger cars- Straight-ahead braking on surfaces with split coefficient of friction- Open-loop test procedure</i> |                                                                                                                                                          |

Após a referência às diferentes normas existentes ao nível nacional e internacional, identificam-se de forma mais específica as disposições normativas publicadas pelo IMT I.P.

A certificação dos Indicadores de Estado de Conservação dos Pavimentos, no que respeita à gestão e exploração dos pavimentos, permite que, a partir da medição dos indicadores, se elaborem metodologias de medidas das características superficiais e estruturais dos pavimentos. A avaliação das características superficiais identifica-se mediante os seguintes parâmetros: textura superficial, regularidade longitudinal e perfil transversal e rodeiras; enquanto que as características estruturais através do perfil transversal e rodeiras, e capacidade de carga. Os Indicadores de Estado de Conservação dos Pavimentos presentes no documento são:

- Medição do Índice de Irregularidade Longitudinal (IRI);
- Medição do Coeficiente de Atrito Transversal (CAT);
- Medição da Textura Superficial;
- Medição da Regularidade Transversal (CR);
- Medição da Capacidade de Carga.

Dado que estes indicadores são referentes à construção e reabilitação de pavimentos, devem-se adaptar às propriedades do protótipo em estudo. Portanto, os indicadores mais aplicáveis a serem medidos são o CAT, obtido através da medição em contínuo com o equipamento SCRIM (*Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine*) (de acordo com o estipulado na CEN/TS 15901-6), e a Capacidade de Carga mediante a utilização de um defletómetro de impacto (ou outro equipamento similar que meça as deflexões à superfície de um pavimento devidas à aplicação de uma carga dinâmica).

### 3.2.2. PEÇA DE SUPORTE DE CADA MÓDULO

Sendo que uma das versões da estrutura de suporte de cada módulo a ser apresentada, é feita de betão armado, implica a certificação de características fundamentais do próprio betão.

O desempenho e a resistência à compressão de estruturas de betão (segundo a norma ISO 1920), as especificações para estruturas pré-fabricadas de betão (conforme as normas NP EN 13224 e NP EN 13791) e as características dos pavimentos rígidos (constituídos principalmente por betão armado) são os aspetos mais importantes que se devem certificar nesta componente. A norma EN 13877 apresenta os requerimentos funcionais que um pavimento em betão deve respeitar, os materiais que podem ser usados e as especificações para os varões de transferência.

Por outro lado, os produtos para a proteção e reparação de estruturas de betão e os métodos para a reparação de estruturas de betão enterradas devem cumprir os requerimentos expostos nas normas ISO/TS 16774 e NP EN 1504.

Desse modo, as normas que podem ser aplicadas à peça de suporte dos módulos são apresentadas na Tabela 3 de seguida.

Tabela 3 - Normas aplicadas à peça de suporte dos módulos

| Caixa de betão armado                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EN 13877: Pavimentos em betão (3 partes)                                                                                                                                  |
| ISO 1920: <i>Testing of concrete</i>                                                                                                                                      |
| ISO/TS 16774: <i>Test methods for repair materials for water-leakage cracks in underground concrete structures (6 parts)</i>                                              |
| NP EN 1504: Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão. Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade (10 partes) |
| NP EN 13224: Produtos prefabricados de betão; Elementos nervurados para pavimentos                                                                                        |
| NP EN 13791: Avaliação da resistência à compressão <i>in-situ</i> do betão nas estruturas e em produtos pré-fabricados                                                    |

### 3.2.3. SISTEMA DE DRENAGEM

Outro elemento importante que faz parte da composição do *NEXT-Road* é o sistema de drenagem. Compreendido pelas tubagens que fazem a ligação entre o interior da caixa de betão com o sumidouro mais próximo, é essencial o seu dimensionamento para um adequado escoamento das águas pluviais. As tubagens a serem selecionadas devem cumprir os requerimentos que ditam as normas EN 13598 e NP ENV 1401.

Não só as dimensões das tubagens, mas também a resistência contra o carregamento da superfície e do tráfego são, de facto, pormenores que se têm de considerar para a certificação do modelo apresentado e que devem cumprir com os requerimentos expostos na norma EN 14802. Apresenta-se, então, as normas aplicadas ao sistema de drenagem (Tabela 4).

Tabela 4 - Normas aplicadas ao sistema de drenagem

| Sistema de drenagem                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EN 13598: <i>Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage; Unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE) (3 parts)</i> |
| EN 14802: <i>Plastics piping systems; Thermoplastics shafts or risers for inspection chambers and manholes; Determination of resistance against surface and traffic loading</i>              |
| NP ENV 1401: Sistemas de tubagens em plástico enterrados para drenagem e esgoto sem pressão - Policloreto de vinilo não plastificado (PVC-U) (3 partes)                                      |

### 3.2.4. LIGAÇÃO MÓDULO PAVNEXT-PAVIMENTO RODOVIÁRIO

O betume e os agregados, como constituintes principais dos pavimentos flexíveis, jogam um papel relevante no que respeita à certificação das mesmas. Com o sistema devidamente instalado, será necessário a definição dos últimos pormenores em termos de selagem do pavimento, vindo a ser uma das opções com o mesmo material do pavimento já existente ou algum ligante betuminoso ou de origem cimentoso. Ditos materiais devem responder aos princípios definidos na EN 12591, EN 12970, CEN/TR 15352, EN 12271, EN 12272 e NP EN 13108. Com ajuda desta caracterização é possível o estudo sobre

a resistência ao combustível da superfície do pavimento (segundo a norma NP EN 12697) e prever eventuais infiltrações no interior do sistema; assim como também, a reutilização ou reciclagem do material previamente fresado. Os agregados utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária deve cumprir os requerimentos impostos pelas normas NP EN 13043 e NP EN 13242.

Á vista disso, as normas aplicadas aos materiais que podem ser empregues na ligação módulo *Pavnext*-pavimento rodoviário são indicadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Normas aplicadas à ligação módulo *Pavnext*-pavimento rodoviário

| Betume, ligantes e agregados                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CEN/TR 15352: <i>Bitumen and bituminous binders; Development of performance-related specifications</i>                                                        |
| EN 12271: <i>Surface dressing; Requirements</i>                                                                                                               |
| EN 12272: <i>Surface dressing; Test methods (3 parts)</i>                                                                                                     |
| EN 12591: Betumes e ligantes betuminosos; Especificações para betumes de pavimentação                                                                         |
| EN 12970: <i>Mastic asphalt for waterproofing; Definitions, requirements and test methods</i>                                                                 |
| NP EN 12697: Misturas betuminosas; Métodos de ensaio para misturas asfálticas                                                                                 |
| NP EN 13043: Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação                            |
| NP EN 13108: <i>Bituminous mixtures; Material specifications</i>                                                                                              |
| NP EN 13242: Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária |

### 3.2.5. EQUIPAMENTOS RODOVIÁRIOS

Outro componente que é necessário certificar são os equipamentos rodoviários que irão completar a implementação do sistema. Como descrito no subcapítulo anterior, os sinais de trânsito e a marcação horizontal da estrada são uma parte fundamental para a sinalização da entrada no sistema.

Os materiais empregues nas marcas rodoviárias, correspondente ao indicador de desnível presente no pavimento, têm de cumprir com as normas CEN/TR 16958, EN 1423, EN 1463 EN 1790 e NP EN 1871. Segundo o regulamento, é usada a sinalização horizontal das lombas ou passadeiras elevadas. Está caracterizada através de duas filas de quadrados alternados de 50 cm por lado à entrada do sistema (Figura 24), em comparação com a representação regular nas passadeiras elevadas que se encontram à entrada e à saída.

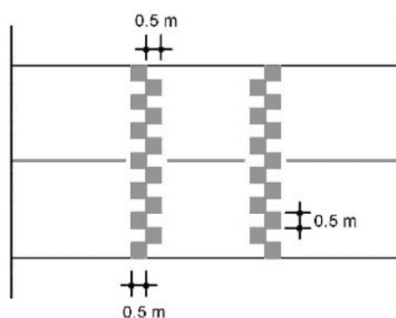


Figura 24 - Representação da marca rodoviária que indica o desnível de uma LRV, M11a no Regulamento de Sinalização do Trânsito

Devido à inexistência deste tipo de sistema de *Energy Harvesting* em pavimentos em Portugal e, consequentemente, da sinalização que o suporte, é necessária a criação de uma marca rodoviária específica que defina esta função. É por isso, que se propõem a criação de uma marca rodoviária que indique a entrada ao corredor central para veículos de duas rodas, sendo necessário a utilização de um símbolo que represente todo tipo de veículos de duas rodas (motociclos, velocípedes, bicicletas, entre outros) e que cumpra com os requerimentos expostos em ISO 9186 de forma a internacionalizar o símbolo. Segundo as Disposições Normativas aplicadas em Portugal, as marcas rodoviárias de sinalização horizontal permanente têm sempre de ser de cor branca (as marcas rodoviárias amarelas- ou pretas em alguns casos- são usadas nas zonas de carga e descarga, em marcas de estacionamento e paragem, ou de cruzamento facilmente congestionáveis). Além disso, podem ser materializadas por pinturas, lancis, fiadas de calçada, elementos metálicos ou de outro material, fixados no pavimento e que sejam antiderrapantes, não devendo ter uma altura superior a 6 mm relativamente ao nível do pavimento. Caso o sistema se encontre dentro de uma localidade, as marcas devem ser retrorrefletoras à exceção de zonas centrais e residenciais (arruamentos com velocidade limitada) e em arruamentos partilhados pelo tráfego pedonal e automóvel. Fora das localidades devem ser sempre retrorrefletoras.

Em complemento da marca rodoviária destinada à indicação da proximidade do desnível no pavimento, deverá ser prevista a utilização de sinalização vertical cujo gráfico ou sinal indique a aproximação da via equipada com o sistema *NEXT-Road*. Esta sinalização vertical, que poderá ser luminosa, será utilizada para dar aviso à entrada do sistema. Como consequência, requiere a criação de um novo símbolo gráfico e, portanto, deve respeitar o cumprimento da norma ISO 9186. Esta sinalização vertical poderá representar, inclusive, a velocidade máxima a que o condutor é aconselhado a transitar. Por outro lado, mas ainda no que se refere aos sinais de trânsito fixos verticais, encontra-se a sinalização que anuncia a passagem de peões e que se adequa aos usados regularmente nas estradas, correspondente ao H7 no Regulamento de Sinalização do Trânsito (Figura 25). A sinalização vertical deve cumprir com os princípios definidos na NP EN 12899.



Figura 25 - Sinalização vertical que indica a passagem de pedestres, H7 no Regulamento de Sinalização do Trânsito

Desse modo, são apresentadas na Tabela 6 as normas aplicadas aos equipamentos rodoviários segundo o IPQ e a ISO, sendo classificadas em três grupos: marcas rodoviárias, criação de novos símbolos gráficos e sinais de trânsito.

Tabela 6 - Normas aplicadas aos equipamentos rodoviários

| Marcas rodoviárias                                                                                                  | Criação de novos símbolos gráficos                         | Sinais de trânsito                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| CEN/TR 16958: <i>Road marking materials; Conditions for removing/masking road markings</i>                          |                                                            |                                                            |
| EN 1423: <i>Road marking materials; Drop on materials; Glass beads, antiskid aggregates and mixtures of the two</i> |                                                            |                                                            |
| EN 1463: Materiais para marcação rodoviária; Marcadores retrorrefletores (2 partes)                                 | ISO 9186: <i>Graphical symbols- Test methods</i> (3 parts) | NP EN 12899: Sinais de trânsito fixos verticais (3 partes) |
| EN 1790: Materiais para marcação rodoviária; Marcas rodoviárias pré-fabricadas                                      |                                                            |                                                            |
| NP EN 1871: Materiais para marcação rodoviária; Propriedades físicas                                                |                                                            |                                                            |

A sinalização luminosa horizontal é utilizada como complemento das marcas rodoviárias. Segundo o regulamento nacional, os marcadores rodoviários usados devem ser de luz branca (os marcadores amarelos são utilizados em sinalização temporária e os verdes na delimitação de vias de acesso a portagem) e não devem ter uma altura superior aos 2,5 cm acima do nível do pavimento. A utilização destes dispositivos retrorrefletores corresponde às necessidades de segurança de circulação, sendo o seu principal objetivo permitir a visibilidade das marcas durante a noite ou em condições de visibilidade reduzida, especificamente a passadeira e a entrada do sistema. Conforme as Disposições Normativas, não é admitida a utilização de dispositivos com emissão de luz contínua, intermitente ou sequencial, devido a que este tipo de instrumento infringe a regra de uniformidade, de modo que pode ser prejudicial pelo efeito de surpresa que pode provocar. É por isso que se propõe a utilização dos marcadores rodoviários do tipo SR-45 (Figura 26). As normas indicam que, sendo uma via de faixa única em que a linha contínua é o único meio de separação de sentidos, o afastamento entre os marcadores deve ser igual a 1,75 m.



Figura 26 - Marcadores rodoviários do tipo SR-45 da SERNIS

Para além das marcas rodoviárias, da sinalização vertical e da sinalização horizontal luminosa utilizadas de forma geral como equipamentos rodoviários primordiais, a ANSR apresenta uma Nota Técnica sobre a instalação e sinalização de LRV. Embora não seja obrigatório o cumprimento desta série de regras, pode-se tomar em conta detalhes sobre a localização e sinalização das LRV, assim como também sobre os critérios a seguir no projeto e na instalação das mesmas. A Unidade de Prevenção Rodoviária da ANSR define a LRV como “...uma secção elevada da faixa de rodagem construída em toda a largura desta, com carácter não temporário, dimensionada com o objetivo de causar desconforto crescente nos ocupantes dos veículos, durante o seu atravessamento e com o aumento da velocidade...” - ANSR, 2007. Segundo a designação, as LRV podem seguir os critérios seguintes:

- A distância entre duas LRV consecutivas deve estar compreendida entre 40 e 150 m, para garantir a redução de velocidade num trecho de via;
- A escolha do local de implantação deverá garantir determinadas distâncias máximas com respeito a certos dispositivos ou características da via apresentadas na Tabela 7;
- Deverá ser assegurado que a propagação das vibrações produzidas pela travessia de veículos na LRV não cause danos às construções e infraestruturas próximas;
- Deverá ser efetuada de forma a evitar conflitos com os acessos a infraestruturas enterradas (caixas de visita, etc.).

Tabela 7 - Distância máxima entre o local de implantação das LRV e os dispositivos ou características da via-ANSR, 2007

| Dispositivos ou características da via                                                                                                                                                                                                             | Distância Máxima (m) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Cruzamento, entroncamento (só para percursos que impliquem alteração de direção)                                                                                                                                                                   | 40                   |
| Rotunda                                                                                                                                                                                                                                            | 40                   |
| Curva com ângulo superior a 70° e desenvolvimento não inferior a 30 m                                                                                                                                                                              | 40                   |
| Secção final de uma via sem saída                                                                                                                                                                                                                  | 40                   |
| Sinal C1 (sentido proibido) ou C21 (trânsito proibido), dirigido aos condutores que se aproximam da LRV, ambos, com o painel adicional n.º 10, excepcionando a prescrição a uma das seguintes situações: moradores, residentes, ou trânsito local. | 40                   |
| Marcas M8, M8a, M9 e M90a (linhas de paragem e de cedência de passagem) na mesma via e sentido em que se pretende colocar a LRV;                                                                                                                   | 60                   |
| Marca M8 associada a uma semaforização de controlo de velocidade                                                                                                                                                                                   | 60                   |
| Dispositivo de acalmia de tráfego                                                                                                                                                                                                                  | 60                   |

Não é admissível a colocação de uma LRV em locais onde se verifique as seguintes condições:

- Quando a velocidade máxima permitida for superior a 50 Km/h;
- Em trecho de via considerado estratégico pelo Serviço Nacional de Bombeiros e Proteção Civil, INEM (Instituto Nacional de Emergência Médica) ou Administração Regional de Saúde;
- Dentro dos limites de uma passagem de nível ou a menos de 20 m de distância de qualquer ponto da mesma;
- Por baixo, ou a menos de 25 m de distância de qualquer ponto de uma estrutura existente sobre a via, que tenha qualquer elemento a uma altura inferior a 6 m acima da superfície do pavimento da via;
- Em cima ou a uma distância inferior a 25 m de qualquer elemento da estrutura de uma ponte ou viaduto que a via atravesse; ou de um túnel que passe por baixo da via;
- Em vias sem passeios ou noutras situações em que seja possível ao condutor adotar uma trajetória que contorne a LRV;
- Em locais sem iluminação pública, constituída no mínimo por três candeeiros com espaçamento entre eles não superior a 40 m ou por dispositivo destinado especialmente à iluminação da LRV. Esta exigência não se aplica se a velocidade máxima permitida no local for de 30 km/h ou inferior;
- A uma distância inferior a 30 m ou superior a 150m de uma passagem de peões;
- A uma distância inferior a 10 m da linha imaginária que delimita a zona de intersecção de um cruzamento ou entroncamento na via em que se pretende instalar a LRV, para salvaguardar a estabilidade dos veículos de 2 rodas;
- Em trechos de via em que a inclinação é igual ou superior a 10%, de forma a evitar que a parte inferior dos veículos pesados colida com a superfície do pavimento da LRV.

Tendo em consideração estas restrições utilizadas especificamente para as LRV, é importante salientar que a sua prática não é obrigatória. Apesar de existirem muitas regras sobre as distâncias máximas entre os locais de instalação das LRV e dos dispositivos ou características da via a fim de respeitar os níveis de ruído admissíveis, o protótipo tem como vantagem que a sua localização pode estar fora daqueles padrões devido a que o modelo em si cumpre com aqueles requisitos, independentemente do local onde se colocar (como foi referido no subcapítulo anterior 3.2.1). Por outro lado, outra vantagem do modelo apresentado reflete-se na restrição da implementação das LRV em trechos de via com inclinação superior ou igual a 10%, devido a que a inclinação da superfície das células e o mecanismo de descida das tampas (perpendicular à superfície do modelo) evitam que qualquer veículo pesado seja penalizado independentemente da inclinação da via em que se encontre implementado.

### 3.3. SÍNTESE CONCLUSIVA

Como foi referido anteriormente, os sistemas de *Energy Harvesting* para pavimentos rodoviários são um conceito inovador que carecem de normas que o suportem. No decorrer da pesquisa das normas já existentes, constatou-se que a maior parte das normas não têm acesso *on-line* e, portanto, só conseguimos 5 documentos das 121 normas analisadas, nomeadamente: a ISO 8608, sobre as características superficiais do pavimentos; a EN 13108-1, relacionada com os materiais constituintes dos pavimentos flexíveis; a NP EN 12899-1, sobre a sinalização vertical; a ISO 9186-1, sobre a criação de novos símbolos gráficos e a EN 13598-2, a ser aplicada no sistema de drenagem. Não obstante, as Disposições Normativas e as normas analisadas estão referenciadas na Bibliografia Complementar desta dissertação.

Depois de analisar as normas relacionadas com a instalação e conceção dos elementos que formam este sistema inovador, verificou-se a importância do cumprimento das regras para num futuro poder implementá-lo em qualquer país e continuar com a criação de patentes, quer nacional quer internacionalmente. É de salientar que, embora já se tenha feito ensaios com o protótipo existente, nomeadamente no que respeita ao ruído e à resistência à derrapagem, deve-se ainda cumprir com certos padrões mais ao nível da Engenharia Civil, especificamente sobre a resistência de cargas e na ligação com o pavimento existente.

# 4

## PROJETO DE IMPLEMENTAÇÃO

### 4.1. ENQUADRAMENTO

Neste capítulo faz-se uma abordagem ao Projeto de Implementação do sistema *NEXT-Road*. É apresentada a análise das suas fases de um modo detalhado, descrevendo-se as funções de cada fase e os estudos e projetos necessários, de modo a otimizar o processo de instalação do sistema de PEH.

Antes de apresentar o Projeto de Implementação do sistema *NEXT-Road*, faz-se uma pequena introdução sobre as Etapas de um Processo Construtivo, de forma a analisar o antes e o depois do tema do presente capítulo. De seguida, é realizada uma abordagem à Constituição dos Pavimentos rodoviários, para assim contextualizar de uma forma mais específica e detalhada o surgimento dos princípios utilizados na solução de PEH da *Pavnext*.

#### 4.1.1. ETAPAS DE UM PROCESSO CONSTRUTIVO

Na perspetiva da conceção e instalação de um sistema de PEH num pavimento rodoviário, descreve-se o contexto onde o Projeto de Implementação se encontra, especificamente as etapas do Processo Construtivo tipicamente seguido nas construções civis em Portugal. O Processo Construtivo pode ser dividido nas quatro etapas seguintes:

- Promoção, Viabilidade e Planeamento;
- Estudos e Projetos;
- Execução da Obra;
- Utilização e Manutenção.

A primeira etapa estabelece os objetivos e linhas gerais do empreendimento e quais as suas características funcionais. Estes aspetos constituem o Programa Preliminar que permite enquadrar a obra e avaliar a sua viabilidade técnica para posterior realização do projeto e sua execução.

A etapa seguinte corresponde ao tema principal deste capítulo e da dissertação em geral, o chamado Projeto de Implementação, com ênfase nos Estudos e Projetos. É elaborado o Programa Base a partir do Programa Preliminar, sendo este o documento que servirá como ponto de partida para os desenvolvimentos posteriores do projeto. Esta fase é caracterizada como um processo que parte do geral (Programa Preliminar) para o particular (Projeto de Execução com o processo de instalação e os documentos de comunicação à obra). Os projetos das diversas especialidades que conformam esta etapa são apresentados para efeitos de licenciamento. Deve existir uma comunicação constante entre a equipa projetista e a entidade licenciadora, de modo a serem, caso necessário, realizadas as respetivas melhorias do projeto. De seguida, procede-se à elaboração do Projeto de Execução (peças escritas e desenhadas).

A execução da obra inicia-se com a eventual seleção de empreiteiros e análise das suas propostas. A execução dos trabalhos é uma das fases mais importantes de todo o processo construtivo, pois passa-se do papel para a realidade tal como foi pensado anteriormente. Deve existir um controlo sobre o que está a ser realizado para verificar se tudo está a correr como o previsto.

Por fim, a etapa de utilização e manutenção é a mais longa, sendo essencial a existência de um documento, chamado Compilação Técnica, que se identifica como um manual para se proceder a futuras obras de reparação ou manutenção dos vários elementos constituintes do empreendimento. O tempo de exploração depende da magnitude de cada obra, estando ela vinculada à manutenção e atenção dadas ao sistema.

Como complemento das Etapas do Processo Construtivo, surge a necessidade de apresentar dois elementos importantes presentes ao longo do dito processo. O chamado *Procurement* trata das consultas, mediante a apresentação das propostas (esclarecimentos de erros e omissões) e o tipo de contratação para o fornecimento de equipamentos e materiais, e prestações de serviços. E os materiais e componentes que visam indicar, na fase de Estudos e Projetos, as especificações técnicas (enunciando as características e requisitos dos diferentes materiais aplicados na obra), de forma a garantir a durabilidade ao longo da vida útil da implementação do sistema e, na fase da Execução da Obra, selecionar os fornecedores, verificar a conformidade das especificações técnicas e a aplicação dos mesmos.

#### 4.1.2. CONSTITUIÇÃO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

Os pavimentos podem ser definidos como uma estrutura laminar e estratificada, ou seja, composta por várias camadas de espessura finita, apoiada continuamente numa fundação. As funções principais de um pavimento rodoviário são resistir às solicitações induzidas pelo tráfego e temperatura, durante a sua vida útil, e fornecer uma superfície que possibilite a circulação dos veículos com garantia de segurança, conforto e sustentabilidade económica e ambiental.

Em função disto, um pavimento deve precisar da exigência de dois tipos de qualidade: a qualidade estrutural, relacionada com a primeira função, quer dizer, com a capacidade para suportar as cargas dos veículos sem sofrer grandes alterações; e a qualidade funcional, ligada às exigências dos utentes, no que se refere ao conforto e segurança de circulação, como descrito na segunda função- Branco *et al* (2008). É por isso que a adoção de camadas diferenciadas permite que, em profundidade e à medida que se afastam do ponto de aplicação das cargas dos veículos, se utilizem materiais menos ricos em qualidade e, portanto, de menores custos.

Relativamente à constituição de um pavimento, distinguem-se duas componentes principais, para além da fundação. As camadas ligadas, constituídas por materiais granulares estabilizadas com ligante, colocadas na parte superior, e as camadas granulares constituídas por agregados não ligados, colocados na parte inferior do pavimento. A constituição da fundação, que não pertence ao pavimento em si, deve ter em conta a seleção dos melhores solos para as camadas superiores. A sua adequada compactação melhora as características mecânicas da fundação, permitindo economias na estrutura do pavimento.

De acordo com o tipo de materiais constituintes e a sua deformabilidade, os pavimentos rodoviários são geralmente divididos em três categorias: pavimentos flexíveis, pavimentos rígidos e pavimentos semirrígidos. O critério de escolha depende da intensidade do tráfego, da qualidade de resistência do solo de fundação, assim como da qualidade dos materiais disponíveis. As camadas superiores dos pavimentos flexíveis estão constituídas por misturas betuminosas (materiais estabilizados por ligantes hidrocarbonados), seguidas inferiormente por uma ou várias camadas formadas por material granular. Os pavimentos rígidos apresentam uma camada superior constituída por uma laje de betão de cimento

(material granular estabilizado por ligantes hidráulicos), seguida por uma ou duas camadas inferiores constituídas também por material granular estabilizado com ligantes hidráulicos e/ou apenas constituídas por material granular. Em alternativa, encontram-se os pavimentos semirrígidos que têm características comuns aos dois tipos de pavimentos anteriores, com uma ou duas camadas superiores constituídas por misturas betuminosas, seguidas de uma camada constituída por agregado estabilizado por ligante hidráulico, podendo apresentar uma camada granular na sub-base- Branco *et al* (2008).

Para além dos tipos de pavimentos apresentados anteriormente, a utilização das calçadas de cubos ou paralelepípedos, em Portugal, é ainda uma realidade que se tem de ter em consideração na realização do projeto. As calçadas devem estar assentes numa almofada de areia, em que as juntas entre os blocos são refechadas com areia muito fina que pode ser misturada com pó de cimento. Com uma ou duas camadas inferiores constituintes de material granulométrico, podem ser seguidas com uma camada de material de granulometria extensa e outra camada de brita, e, em alguns casos, pode interpor-se entre elas um geotêxtil com funções anticontaminantes.

Tendo isto em consideração, o desenvolvimento do sistema de *Energy Harvesting* deve respeitar as ditas características, de forma a proporcionar uma boa resposta nos utilizadores, quer nos condutores, quer nos peões e, em termos de geração de energia, conseguir um impacto ambiental e económico satisfatório.

A peça de suporte do sistema é o principal elemento a ter em conta, para garantir a qualidade estrutural, devido a que a parte inferior do suporte se situa na base ou na sub-base do pavimento existente, quer dizer, no elemento do pavimento com função estrutural. Desse modo, e como foi descrito anteriormente, será apresentado o projeto técnico das duas propostas da peça de suporte que, para além de ter uma elevada resistência mecânica, deve cumprir com outras exigências relacionadas com a qualidade funcional, referidas mais à frente. O último protótipo instalado num ambiente relevante foi baseado na proposta de implementação do sistema *NEXT-Road* apresentado no subcapítulo denominado Programa Base do presente capítulo. A implementação desta peça de suporte feita de betão armado servirá como ponto de partida para aperfeiçoar a sua performance (versão 1). Sendo este um elemento muito robusto, e de forma a diminuir a profundidade da vala a ser escavada para implementar o protótipo, considerou-se a criação de uma outra proposta, em que o único material a ser utilizado é o aço (versão 2). A estrutura metálica como suporte de cada módulo é uma hipótese concebida a partir das dimensões da estrutura de betão armado.

De forma a garantir uma correta drenagem das águas pluviais, desde o interior do módulo até à sua ligação com o sumidouro mais próximo possível, efetuou-se o dimensionamento e a definição das tubagens, com a finalidade de evitar que a água entre em contacto com a base ou sub-base do pavimento, reduzindo a capacidade resistente do pavimento. Para que o pavimento não venha a ter problemas em termos de tensões após a implementação, a drenagem das águas pluviais é o aspeto mais importante para permitir que o sistema opere corretamente.

No que respeita à qualidade funcional, para além das características superficiais validadas em estudos anteriores a este, é importante garantir uma boa ligação entre o módulo e o pavimento de forma a evitar possíveis patologias à volta do sistema que prejudiquem o seu correto funcionamento. Como consequência, irão ser apresentados diversos tipos de ligação que garantam a estanquidade do sistema e uma adequada aderência entre o sistema e o pavimento, estando estes dependentes do tipo de pavimento no qual será implementado.

Por outro lado, a instalação dos acessórios, nomeadamente dos marcadores rodoviários, dependerá do tipo de pavimento onde irá ser implementado o sistema. Desse modo, apresentam-se diferentes soluções de ligação dos ditos marcadores, baseados na ligação do suporte ao pavimento.

Finalmente, somos chegados ao objetivo principal deste estudo, correspondente à elaboração dos métodos construtivos para a implementação do sistema de *Energy Harvesting* em pavimentos rodoviários existentes. Desse modo, serão apresentadas as fases do projeto de execução, assim como os documentos a produzir em cada uma delas, os dados a ter em conta para a realização do projeto e o método em si. De uma forma sequencial, serão apresentados os passos que se devem seguir para uma correta implementação do sistema, de modo a otimizar o tempo e a simplificar a instalação, e, para finalizar, quais os equipamentos e materiais necessários para instalar o sistema.

## 4.2. PROGRAMA BASE

De forma a apresentar uma solução que traduza os aspetos principais do sistema e, de acordo com as características do sistema de *Energy Harvesting* previstas no capítulo 2, propõe-se seguidamente a implementação do sistema. A instalação completa do sistema *NEXT-Road* envolve 6 componentes, que incluem já a sinalização do sistema:

- Sistema *NEXT-Road* aplicado no pavimento. A primeira e mais importante componente do processo de instalação de todo o sistema é a instalação dos módulos *NEXT-Road*, tendo como objetivo instalar 20,0 m lineares no pavimento (por 3,0 m da faixa de rodagem). Como referido anteriormente, a versão da caixa de betão (que foi definido como o ponto de partida) tem uma dimensão de 2,0x3,0 m, o que quer dizer que têm de ser instaladas 10 caixas no pavimento, tendo como complemento um sistema de escoamento de água, desde o interior do módulo até ao sumidouro mais próximo, através de duas aberturas localizadas em cada extremo da peça de suporte;
- Sinalização horizontal luminosa com marcadores LED no pavimento. Antes da entrada no sistema, inclui a marcação do pavimento com 2 marcadores isolados, de modo a sinalizar a entrada do pavimento. Após a passagem do sistema, apresenta a marcação da saída do pavimento *NEXT-Road* com os marcadores em série, de modo a sinalizar a passadeira;
- Sensor de peões que trabalha em conjunto com os marcadores em série. O sistema tem como função principal detetar os peões que pretendam atravessar a passadeira;
- Sinalização vertical luminosa no passeio. O sinal vertical antes do sistema *NEXT-Road* serve como indicação da mudança de pavimento. O sinal vertical antes da passadeira serve de indicação da localização de uma passagem para peões. Devido a que os sinais são iluminados a LED, terão ligação elétrica com o quadro elétrico. Como os próprios sinais têm sensores e são atuados por comando, para além de cabos para energia, precisam de cabos para comunicação, e, no melhor dos casos, com comunicação *wireless*;
- Quadro elétrico e cablagens desde os restantes elementos até ao quadro elétrico, localizado no passeio paralelo ao sistema. Por outro lado, no quadro elétrico irão permanecer as baterias com a finalidade de armazenar a energia que não for usada na iluminação do sistema;
- Marcas no pavimento, antes da entrada do *NEXT-Road*, com o objetivo de indicar aos veículos de duas rodas a aproximação ao sistema e indicar o desnível do pavimento para os restantes veículos. A marcação no centro da faixa de rodagem disporá de uma cor distinta com o símbolo representativo de motociclos e de uma seta a indicar a direção, com 15,0 m de comprimento. A marcação do pavimento com tinta branca, a indicar desnível do pavimento, através das marcas utilizadas para indicar o desnível das LRV.

Com base na descrição dos componentes que conformam a implementação do sistema, foi esquematizada a instalação em planta dos elementos em diferentes cenários de forma a exemplificar a

integração do sistema PEH com a sua envolvente (Figura 27 e Figura 28), apresentando-se na Tabela 8 o significado de cada elemento.

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar  
*Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Figura 27 - Exemplo de aplicação do sistema *NEXT-Road* numa das vias, no formato CAD

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar  
*Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Figura 28 - Exemplos de aplicação do sistema *NEXT-Road* em vias de sentido contrário, no formato CAD

Tabela 8 - Figuras representativas dos elementos do sistema *NEXT-Road*

Tabela confidencial, para mais informações contactar Pavnext – Technological Pavements, Lda.

#### 4.3. ESTUDO PRÉVIO

A partir do Programa Base, foi possível estimar a composição geral da solução. A principal função do Estudo Prévio é verificar a compatibilidade da solução com todas as restrições e as relações funcionais que o sistema apresenta. Além disso, é necessário predefinir as soluções técnicas previstas e o desempenho técnico esperado de cada elemento com a sua envolvente. Portanto, nesta fase irão ser apresentados os diferentes projetos técnicos e estudos realizados, nomeadamente no que se refere à peça de suporte dos módulos, ao sistema de drenagem, à ligação do módulo com o pavimento existente e ao projeto de instalação dos acessórios, especificamente dos marcadores rodoviários, dos sensores de peões, dos sinais verticais, do armário elétrico e da marcação rodoviária.

##### 4.3.1. PROJETO TÉCNICO DA PEÇA DE SUPORTE

Para a realização do projeto técnico do suporte, em que os geradores de energia irão assentar, foi crucial definir o que era indispensável para que o sistema pudesse ser implementado de modo a cumprir com as normas e regras existentes em termos de construção civil. Os requisitos base que justificam a escolha do suporte de cada módulo são:

- Resistência à passagem dos veículos pesados;
- Espessura limitada que minimizará a profundidade da escavação e que, consequentemente, reduzirá o impacto na base do pavimento;
- Sistema o mais estanque possível;
- Aderência com a envolvente que garanta a ligação com o pavimento existente;
- Sistema de drenagem das águas pluviais com ligação ao sistema predial existente (caixas de visita, sumidouros, etc.);
- Simplicidade e rapidez na hora de instalar o sistema modular;
- Passagem de veículos de duas rodas.

Deste modo, como foi referido anteriormente, serão apresentadas duas versões das possíveis soluções que cumpram com estes requisitos. Uma primeira proposta, que segue o conceito definido na apresentação do sistema *NEXT-Road* no subcapítulo anterior, onde se expõe o desempenho previsto da caixa de betão armado, em conjunto com a sua envolvente. Por outro lado, apresenta-se uma segunda versão, em que o único material utilizado irá ser o aço, sendo assim uma estrutura metálica a servir de peça de suporte dos módulos.

#### 4.3.1.1. Versão 1: Caixa de betão armado

Nesta primeira versão, irá ser apresentada a caixa de betão armado, sendo que o betão é do tipo C30/37 e a armadura de aço metálico galvanizado do tipo A500NR. De forma a que esta peça seja capaz de resistir aos grandes esforços e de oferecer uma boa ligação com as camadas do pavimento existente, a largura exterior da caixa de betão armado é de 3,0 m (equivalente à largura da faixa de rodagem) e o seu comprimento exterior é de aproximadamente 2,0 m, tendo uma espessura lateral de cerca de 10 cm em cada lado.

Em Fevereiro do ano 2019, foi instalado, numa via interna da Câmara Municipal de Matosinhos (CMM), o modelo de suporte considerado o ponto de partida para a realização desta versão (Figura 29). Este protótipo foi utilizado para realizar diversos testes no que respeita ao ruído (segundo a norma ISO 362-1) e ao impacto- teste de conforto, através da medição da aceleração vertical e teste de redução de velocidade, através da medição da aceleração longitudinal. Para além disso, serviu para verificar a ligação do suporte com o pavimento e comprovar o comportamento da superfície do modelo em relação à estanquidade. De um modo mais pormenorizado, foi importante, também, verificar o comportamento das células num ambiente mais real, tendo em conta algumas características como: o correto funcionamento da sua superfície em termos de aplicação de cargas em diversos pontos da célula - de forma a evitar que a tampa da célula se incline longitudinal ou transversalmente mediante a ativação das molas internas que a constituem-, o escoamento da água na sua superfície e a correta ligação com a caixa de betão, entre as mesmas células, e com o corredor central. A partir deste exemplar foram deduzidas algumas melhoras que o sistema deve apresentar, principalmente no que concerne à estanquidade do modelo.



Figura 29 - Protótipo da Pavnext instalado numa via interna na CMM

Em primeiro lugar, a proteção da superfície contra a penetração quer dos corpos sólidos, quer dos corpos líquidos, é primordial para garantir a estanquidade no modelo. Após o devido assentamento e ajuste das

células e do corredor central na caixa previamente instalada, pretende-se que a selagem dos pequenos espaços, existentes entre as células e entre as células e a estrutura metálica, seja feita através do uso de um silicone autonivelante e impermeabilizante. Outra proposta para solucionar a dita questão, foi baseada na implementação de uma capa de proteção com um material antiderrapante de borracha (similar ao material usado nas tampas das células), em que esta passasse de uma célula a outra criando uma espécie de folga no tapete entre os espaços das células, para que as tampas dos geradores de energia conseguissem trabalhar de forma independente. Todavia, esta solução foi recusada porque a durabilidade do revestimento nas ligações não estava garantida devido ao desgaste por fricção, como consequência das repetidas cargas a que estaria sujeita.

Em termos de drenagem, a caixa de betão foi especialmente desenhada para o escoamento da água. Na superfície do módulo, o sistema de escoamento das células foi aperfeiçoado através da criação de uma ranhura nos cantos inferiores, por onde a água é canalizada para o interior da caixa de suporte sem passar pelo interior do sistema eletromecânico. Entretanto, a base do protótipo instalado apresenta uma única inclinação, o que, por conseguinte, fez com que as águas pluviais não fossem corretamente escoadas, levando-as para um dos lados da caixa de betão (Figura 30).



Figura 30 - Interior do suporte do protótipo da *Pavnext* após um ano e quatro meses de instalado

Por esta razão, no presente modelo, considerou-se uma base com duas águas, uma para cada lado do suporte (Figura 31). A parte inferior da caixa é constituída por uma série de canais com certo declive, que permitem escoar a água e que as células se ajustem melhor à caixa e entre si. Os módulos serão assentes na parte plana e os canais permanecerão debaixo de cada módulo. De uma forma intercalada, os declives dos canais variam entre dois possíveis ângulos para garantir escoar os caudais mínimos de um canal para o outro. Para isso, a espessura do ponto mais baixo de dita caixa é de 8 cm e a parte mais espessa tem 17 cm.

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar Pavnext – Technological Pavements, Lda.

Figura 31 - Peça de suporte correspondente à caixa de betão, no formato CAD

Por outro lado, de forma a garantir a ligação entre a caixa de betão armado e as camadas do pavimento existente e para evitar possíveis deslocamentos do sistema ou infiltrações de água, é de grande importância salientar um pormenor deste elemento, presente na Figura 32.

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar Pavnext – Technological Pavements, Lda.

Figura 32 - Vista lateral do módulo tipo na versão 1 (caixa de betão), no formato CAD

Assim, o sistema modular tem no total 34,5 cm de altura, aproximadamente, distribuídos na sua vista lateral da seguinte forma: 2,5 cm da tampa inclinada na superfície, mais 6 cm da lâmina fina de aço e 26 cm da caixa de betão, ambas imersas no pavimento rodoviário. Por outro lado, encontram-se, neste mesmo corte, quatro aberturas, das quais: as localizadas nos extremos, de maior diâmetro, correspondem ao sistema de drenagem da água que se infiltra para o interior do sistema, e as duas centrais são para a passagem do sistema elétrico.

Relativamente à instalação das tubagens utilizadas para ligar a caixa com o sumidouro mais próximo, deve-se considerar uma maior inclinação dentro do terreno entre 2% a 5%, para assim assegurar que a velocidade de escoamento seja tal que garanta a chegada da água ao sumidouro (sendo necessário enterrar a tubagem que estiver do lado contrário do sumidouro numa faixa de rodagem, pelo menos 6 cm por debaixo do início da saída de água). Para além disso, devemos ter em conta a utilização de acessórios para tubagens capazes de criar uma ligação hermética, quer na saída da própria caixa, quer na conexão dos tubos (como estabelece a norma EN 13598 sobre as especificações do uso de acessórios auxiliares ao sistema de tubagem em plástico para drenagem subterrânea e esgoto sem pressão). O sistema de tubagem deve ser apto para a utilização em sistemas de drenagem que resistam ao carregamento da superfície e do tráfego segundo a norma EN 14802. Na instalação do dito protótipo, foi usado um sistema de tubagens para cabos como sistema de drenagem de água, sendo estes corrugados e dificultando a passagem dos restos sólidos até ao sumidouro. Por isso, propõe-se a utilização de tubos

de Polipropileno (PP) ou Polietileno Reticulado (conhecido por PEX). Embora a flexibilidade destas tubagens não seja de igual intensidade como os corrugados, a implementação dos acessórios anteriormente relatados irão resolver este obstáculo. No que concerne ao diâmetro necessário das tubagens, foi realizado um estudo apresentado no subcapítulo 4.3.2.

A implementação desta versão da peça de suporte em betão no sistema de *Energy Harvesting*, criado pela *Pavnext*, baseou-se no conceito de pavimentos semirrígidos. Como foi descrito no subcapítulo anterior, o sistema dos pavimentos semirrígidos foi estudado com o principal objetivo de combinar as vantagens dos outros dois tipos de pavimentos -flexíveis e rígidos-, e, assim, atuar com a resistência do betão, mas trabalhar com a versatilidade das camadas betuminosas. Mesmo que a constituição da camada de desgaste e de regularização dos pavimentos semirrígidos seja idêntica ao dos pavimentos flexíveis, a camada da base deste é constituída por um material granular estabilizado com ligante hidráulico e a camada de sub-base por um material granular estabilizado mecanicamente (material de granulometria extensa). Portanto, a camada de base dos pavimentos semirrígidos, devido à sua elevada rigidez, absorve a maior parte dos esforços a que o pavimento está sujeito, que, deste modo, atua sobre o solo de fundação com valores muito reduzidos- Branco *et al* (2008). A semelhança do protótipo ao conceito geral deste tipo de pavimento radica, então, no facto de terem uma superfície “flexível” e uma base, e possível sub-base, “rígida”.

A existência duma camada de base rígida, formada pelo betão armado da caixa de suporte, conduz a uma repartição muito atenuada de tensões para as camadas inferiores. Isto faz com que a distribuição das cargas verticais transmitidas às camadas subjacentes ocupe uma área maior, mas menos intensa, em comparação com os pavimentos em que a camada de base não se encontra aglutinada com cimento- como é o caso dos pavimentos flexíveis (Figura 33). Por outras palavras, é de esperar uma distribuição deste tipo devido à rigidez da caixa de betão armado.

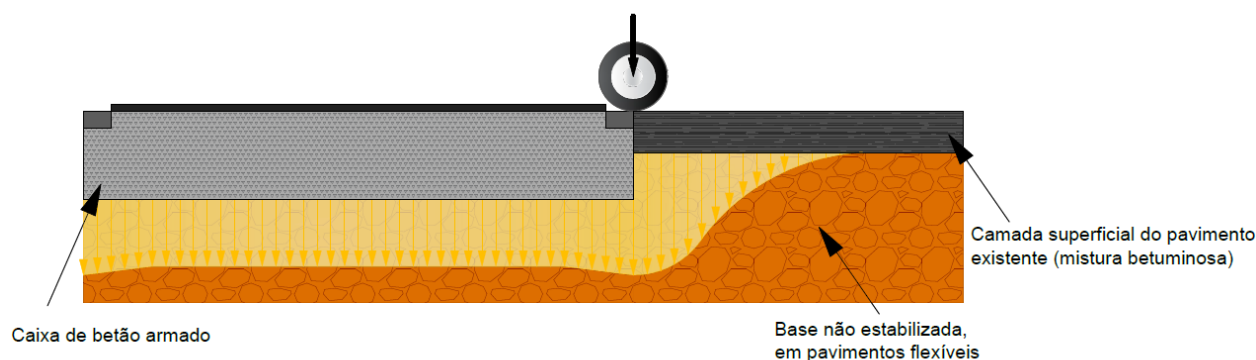


Figura 33 - Caraterização do efeito da distribuição das cargas na ligação do sistema implantado num pavimento flexível

Outra vantagem importante desta solução é a resistência que a caixa de betão armado apresenta: boa resistência à compressão e alguma à tração devido à armadura. No entanto, pelo tipo de material existem diferentes formas de deterioramento, destacando-se principalmente o fendilhamento por fadiga na base do suporte. A fadiga ocorre pelo facto de a caixa de betão armado poder entrar em rotura por fendilhamento devido às extensões de tração induzidas pela repetição das cargas. É por isso que, como consequência da infiltração da água e da ação do tráfego, combinada eventualmente com ações de origem térmica, poderá existir algum deterioramento na armadura interna da caixa, nomeadamente a sua

corrosão. Segundo o protótipo testado, verificou-se a resistência aos pesados, estando este localizado num parque de estacionamento, onde o tráfego de pesados (como caminhões recolectores de lixo, camiões com gruas e, até, retroescavadoras) manipulam constantemente o sistema embebido.

Sendo que a temperatura média anual em Portugal varia entre cerca de 7 °C (nas terras altas do interior norte e centro) e cerca de 18 °C (no litoral sul), segundo o IPMA, o betão irá apresentar um bom desempenho. A chapa metálica que se encontra no seu interior poderá apresentar alguma dilatação devido ao incremento da temperatura, que em termos de performance não irá ser um grande inconveniente. Conforme o protótipo, confirmou-se que este tipo de suporte não apresenta grandes contratempos no que se refere às mudanças de temperatura.

É importante salientar que, neste tipo de suporte, dificilmente será possível realizar qualquer alteração na estrutura depois de implementado, não só devido ao difícil acesso que se tem à estrutura, mas também pelo tipo de material que, caso precise de alguma modificação no betão, vai precisar de tempo para retomar a sua resistência final ou para ganhar presa.

#### 4.3.1.2. Versão 2: Estrutura metálica

Em contrapartida, sugere-se a utilização de uma estrutura metálica como suporte dos módulos, em que as medidas de cada módulo vão se manter iguais. O propósito da utilização deste material metálico é que irá garantir a resistência e a durabilidade em contacto com a água e com os eventuais restos sólidos. A proteção do equipamento contra a penetração de corpos sólidos e líquidos é fundamental na projeção do elemento de suporte, sendo esta uma das vantagens que distingue a presente versão da anterior.

No que respeita às dimensões, pretende-se que sejam iguais ao suporte de betão armado em que a dimensão interna mantém-se, e a externa irá ser, certamente, menor. Portanto, e como foi referido anteriormente, esta segunda versão tem aproximadamente 1,8 m de comprimento e 2,8 m de largura (Figura 34). Na constituição da estrutura metálica, prevê-se o uso de chapas metálicas de 8 mm de espessura nas suas lâminas laterais e na lâmina responsável por escoar a água (sendo de igual espessura que a lâmina utilizada no interior da caixa de betão armado), e de 10 mm de espessura nas lâminas horizontais responsáveis por resistir às cargas.

Desenho técnico confidencial, para mais  
informações contactar *Pavnext – Technological  
Pavements, Lda.*

Figura 34 - Peça de suporte correspondente à estrutura metálica, no formato CAD

Em termos de resistência, a ductilidade do aço é uma propriedade que este material oferece para resistir melhor à passagem dos veículos pesados, sem entrar em colapso pela repetição das cargas. De forma a garantir uma distribuição de cargas uniforme na zona em contacto com o solo, sugere-se que a rigidez na base da estrutura metálica se assemelhe à da caixa de betão armado. Em virtude disto e para garantir um bom escoamento da água, pretende-se que a base tenha um sistema de escoamento baseado na versão anterior da caixa de suporte de betão armado. Nesta ocasião, sendo o aço o único material presente, a estrutura da base é constituída por duas lâminas paralelas entre si, em que na sua diagonal se situa outra lâmina de aço responsável por canalizar a água para a saída do suporte. A lâmina superior apresenta uma estrutura similar à da caixa de betão para o encaixe das células e, em comparação com a outra versão, esta possui uma série de orifícios, por onde a água passa para o nível inferior.

Como foi descrito anteriormente, a distribuição das cargas na interface do suporte com o resto do pavimento vai depender da rigidez da base do suporte. De acordo com a proposta feita, prevê-se que a distribuição de cargas no solo do pavimento seja similar à distribuição de cargas causada por uma camada rígida no pavimento nas camadas não ligadas hidraulicamente. Isto quer dizer que a carga irá ser repartida por toda a área que estiver em contacto com o solo, sendo assim suavizada em profundidade comparativamente com o resto do pavimento (flexível ou calçada).

Sendo que a estrutura metálica tem aproximadamente 1276 Kg. e a caixa de betão armado uns 1564 Kg., aproximadamente, podemos assumir que, em termos de transporte, o processo de instalação da estrutura metálica se prevê que seja menos laborioso. Por isso, a implementação desta outra proposta vai propiciar uma instalação muito mais simples, reduzindo-se a profundidade da escavação e, por conseguinte, causando um menor impacto na base do pavimento. Para além disso, deverá ter um sistema de transporte que permita a simplicidade na sua instalação de igual forma que a caixa de betão. De forma a simplificar o fabrico da estrutura metálica, o transporte e a manobra do módulo serão realizados através de tiras, que passarão pelos furos destinados à drenagem da água e, quando o módulo assentar no terreno, será possível retirar as ditas tiras de forma rápida e fácil (tal qual como a caixa de betão dispõe na sua base) (Figura 35).

Desenho técnico confidencial, para mais  
informações contactar *Pavnext – Technological  
Pavements, Lda.*

Figura 35 - Estrutura metálica com as células geradoras de energia, no formato CAD

Embora a estrutura metálica seja constituída por um único material (aço), em termos de produção, o processo de soldadura será uma desvantagem, pois, quanto mais pormenores a peça tiver, mais complicado e caro será o seu fabrico. Por outro lado, tem uma vantagem relacionada com o tipo de

material, sendo que é possível realizar alterações no suporte, como eventuais perfurações ou colocação de complementos (p.ex. parafusos), sem sofrer grandes modificações nas suas propriedades físicas.

Sendo que o sistema modular tem no total 24,0 cm de altura, reduzir-se-á a profundidade da vala até uns 8,0 cm, em comparação com a primeira versão de betão armado (Figura 36). Da mesma maneira que na primeira versão, encontra-se, neste mesmo corte, quatro aberturas que correspondem ao sistema de drenagem da água que infiltra para o interior do sistema, e as destinadas à passagem do sistema elétrico.

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar *Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Figura 36 - Vista lateral do módulo tipo na versão 2 (estrutura metálica), no formato CAD

#### 4.3.2. PROJETO DO SISTEMA DE DRENAGEM

Para o cálculo do diâmetro da tubagem ( $\phi$ ) para escoar as águas pluviais desde o interior dos módulos até ao sumidouro, foram utilizados, como base de estudo, os coletores prediais, por serem os mais parecidos com o tipo de sistema de drenagem implementado. É importante salientar que os cálculos foram feitos para dois casos; o primeiro referente ao caudal de um módulo e o segundo para o caudal da sequência dos 10 módulos, de forma a comparar os diâmetros obtidos e conseguir estandardizar um diâmetro único para qualquer dos casos sem necessidade de estar sobredimensionado.

Em primeiro lugar, deve-se calcular o caudal esperado de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{esp} = C \cdot I \cdot A \quad (1)$$

Em que:

$Q_{esp}$  [ $m^3/s$ ] - Caudal esperado

$C$  [adm] - Coeficiente de escoamento

$I$  [ $m/s$ ] - Intensidade de precipitação

$A$  [ $m^2$ ] - Área a drenar em projeção horizontal

O coeficiente de escoamento depende do tipo e da inclinação da superfície, por isso considerou-se um coeficiente de escoamento unitário, assumindo o episódio mais gravoso, sendo que o volume precipitado é igual ao volume escoado de forma a simplificar os cálculos. Segundo o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), a intensidade da precipitação líquida é classificada em chuva e aguaceiros de chuva, sendo que esta última pode ser de 4 tipos: fracos, moderados, fortes ou violentos. Tendo isto em consideração e assumindo um aguaceiro de chuva violento, temos que a intensidade de precipitação mais crítica é definida para valores acima dos 50  $mm/h$ . Por isso, assumindo o dobro do dito valor (100  $mm/h$ ), o valor para a intensidade de precipitação irá ser igual a  $2,78 \times 10^{-5}$   $m/s$ . Com respeito à área, considerou-se metade da ocupada pelo sistema, sendo igual para as duas versões de suporte apresentadas, quer dizer 1,8x1,4  $m$ . Sendo assim:

$$Q_{esp} = 1 \cdot 1,39 \times 10^{-5} \cdot 1,8 \cdot 1,4 = 7,0 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Com o caudal esperado, procedeu-se ao cálculo do diâmetro mínimo da tubagem. Considerou-se, então, a equação de equilíbrio energético e a equação de continuidade, tendo:

$$\left. \begin{aligned} U &= K_s \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2} & (2) \\ Q &= U \cdot S & (3) \end{aligned} \right\} \quad Q = Q_{máx} = K_s \cdot S \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{i} \quad (4)$$

Sendo:

$Q$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] - Caudal

$Q_{máx}$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] - Caudal máximo de cálculo

$K_s$  [ $\text{m}^{1/3}/\text{s}$ ] - Coeficiente de Manning Strikler

$R$  [ $\text{m}$ ] - Raio hidráulico

$i$  [ $\text{m}/\text{m}$ ] - Inclinação do coletor

$U$  [ $\text{m}/\text{s}$ ] - Velocidade de escoamento

$S$  [ $\text{m}^2$ ] - Área da secção molhada

Os coletores são dimensionados para um escoamento não superior à secção cheia. O coeficiente de Manning Strickler de uma tubagem em PVC é aproximadamente igual a  $120 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , sendo o material mais parecido às tubagens de PEX. A inclinação do coletor dentro do terreno foi considerada igual a 2% para assegurar uma certa velocidade de escoamento da água desde o interior do módulo até ao sumidouro mais próximo. Portanto, para ter um ponto de partida no que se refere ao diâmetro necessário, determinou-se a partir do caudal máximo em secção cheia para cada caso, sendo que  $Q_{esp} < Q_{máx}$ . Para efeitos do cálculo da área da secção molhada,  $S$ , e do raio hidráulico,  $R$ , determinou-se através das seguintes expressões:

$$S = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \quad (5)$$

$$R = \frac{\phi}{4} \quad (6)$$

Substituindo o resultado do caudal esperado,  $Q_{esp}$ , em (1) e as expressões (5) e (6) em (4), obtemos num processo iterativo o seguinte resultado para o diâmetro da tubagem assumindo secção cheia:

$$7,0 \times 10^{-5} = 120 \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \cdot \left(\frac{\phi}{4}\right)^{2/3} \sqrt{0,02} \Rightarrow \phi = 0,0148 \text{ m} = 14,8 \text{ mm}$$

Por isso, tendo como ponto de partida o dito diâmetro, considerou-se, então, o diâmetro nominal de 20 mm, sendo que o diâmetro interior é igual a 16,2 mm. Seguidamente, considerou-se  $\frac{3}{4}$  da secção cheia para garantir um bom escoamento da água desde o interior do módulo até ao sumidouro. Portanto,

atendendo a uma secção circular com  $\frac{3}{4}$  da secção cheia (Figura 37), considerou-se as seguintes equações:

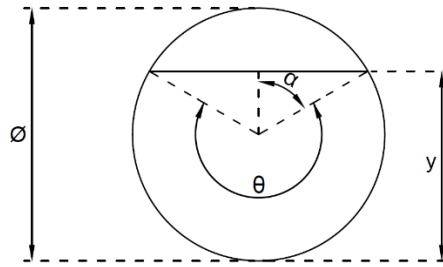


Figura 37 - Análise trigonométrica de uma tubagem com secção circular com  $\frac{3}{4}$  da secção cheia

$$S = \frac{(\theta - \sin \theta) \cdot \phi^2}{8} \quad (7)$$

$$R = \frac{\left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right) \cdot \phi}{4} \quad (8)$$

Sendo que a secção é considerada  $\frac{3}{4}$  cheia e assumindo que o diâmetro interno é igual a 16,2 mm, estima-se a altura “y” equivalendo a 12,15 mm. Para obter o valor de  $\alpha$  é preciso realizar uma análise trigonométrica. Sendo o ângulo de  $360^\circ$  equivalente a  $2\pi$  radianos, uma circunferência completa consta, então, de  $2\pi$  radianos. Se aos  $360^\circ$  subtraímos duas vezes o ângulo  $\alpha$ , obtemos o ângulo  $\theta$ . Portanto, se

$$\theta = 2 \cdot \pi - 2 \cdot \alpha \quad (9)$$

E, por trigonometria,

$$\cos \alpha = \frac{4,05}{8,1} \Rightarrow \alpha = \frac{\pi}{3} = 60^\circ \quad (10)$$

Substituindo (12) em (11), obtemos que

$$\theta = \frac{4\pi}{3} = 240^\circ$$

Em virtude disto e de acordo com as expressões (7) e (8), calculou-se a área da secção molhada  $S$  e o raio hidráulico  $R$ , para ambos o diâmetro da secção  $\frac{3}{4}$  cheia, obtendo:

$$S = \frac{\left(\frac{4\pi}{3} - \sin \frac{4\pi}{3}\right) \cdot 0,0162^2}{8} = 16,58 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$R = \frac{\left(1 - \frac{\sin \frac{4\pi}{3}}{\frac{4\pi}{3}}\right) \cdot 0,0162}{4} = 488,73 \times 10^{-5} \text{ m}$$

De seguida e através da expressão (4), determinou-se o caudal máximo  $Q_{m\acute{a}x}$  permitido.

$$Q_{m\acute{a}x} = 120 \cdot 16,58 \times 10^{-5} \cdot (488,73 \times 10^{-5})^{2/3} \cdot \sqrt{0,02} = 8,1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Comparando o caudal esperado com o caudal máximo para cada caso, verifica-se que

$$Q_{esp} < Q_{m\acute{a}x} \Rightarrow 7,0 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} < 8,1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Dado o exposto, podemos optar por um diâmetro igual a 20 mm na implementação de um módulo.

Por outro lado, se o projeto é baseado na implementação de 10 módulos consecutivos, devemos ter em conta que o caudal esperado aumenta. Sendo assim que:

$$Q_{esp} = 7,0 \times 10^{-5} \cdot 10 = 70,0 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Refazendo os cálculos do diâmetro em secção cheia, obtemos:

$$70,0 \times 10^{-5} = 120 \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \cdot \left(\frac{\phi}{4}\right)^{2/3} \sqrt{0,02} \Rightarrow \phi = 0,0351 \text{ m} = 35,1 \text{ mm}$$

Através de dito diâmetro considera-se, então, um diâmetro nominal de 50 mm, em que o seu diâmetro interior é igual a 40,8 mm. Seguidamente, serão realizados os cálculos do caudal máximo com secção  $\frac{3}{4}$  cheia, substituindo as expressões (7) e (8) em (4).

$$Q_{m\acute{a}x} = 120 \cdot \frac{\left(\frac{4\pi}{3} - \sin \frac{4\pi}{3}\right) \cdot 0,0408^2}{8} \cdot \left(\frac{\left(1 - \frac{\sin \frac{4\pi}{3}}{\frac{4\pi}{3}}\right) \cdot 0,0408}{4}\right)^{2/3} \cdot \sqrt{0,02} \Rightarrow$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 95,2 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Verifica-se então que para este caso,

$$Q_{esp} < Q_{m\acute{a}x} \Rightarrow 70,0 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} < 95,2 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Em face dos dados apresentados, para o caso em que sejam implementados 10 módulos do sistema *NEXT-Road*, podemos selecionar uma tubagem com diâmetro nominal igual a 50 mm. Mas de forma a privilegiar a segurança, selecionaremos uma tubagem com diâmetro nominal igual a 63 mm. Devido à discrepância dos resultados obtidos nas duas alternativas, não foi possível padronizar um tipo de tubagem, mas, caso seja instalado um módulo só, é evidente que nos encontraremos no lado da segurança.

#### 4.3.3. LIGAÇÃO MÓDULO PAVNEXT-PAVIMENTO RODOVIÁRIO

Um dos principais problemas relativos à ligação da caixa com o pavimento é o abatimento e a falta de continuidade (desagregação) que pode ocorrer na entrada e na saída do sistema. Sendo o abatimento o principal obstáculo no que se refere à interface do modelo com o pavimento, é o resultado duma redução da capacidade de suporte por infiltração da água até às camadas granulares e ao solo de fundação.

É importante evitar este tipo de patologia devido a que se perde o efeito da geração de energia, sendo esta a essência do seu funcionamento. Tal que, caso exista abatimento antes do sistema, os condutores irão travar antes de ingressar no modelo, desaproveitando essa energia; e, caso o abatimento se encontre depois do sistema, irão travar na saída do sistema, podendo danificar o próprio sistema.

Outra causa do abatimento ocorre quando as camadas inferiores, em particular o solo de fundação e as camadas granulares, sofrem situações patológicas por falta de compactação. É por isso que as soluções propostas são focadas de modo a evitar a infiltração da água na interface suporte-pavimento e para que, por sua vez, consiga resistir à passagem dos veículos pesados. Como é evidente, cada solução vai depender do tipo de pavimento em que se vai implementar. No caso de Portugal, os tipos de pavimentos mais utilizados nas vias de acesso local são os pavimentos flexíveis e o chamado popularmente calçada.

Uma das grandes diferenças dos pavimentos semirrígidos em relação ao protótipo, no que concerne à ligação entre as camadas, é que se estabelece na vertical. A inexistência de transição de uma camada para outra ao longo do comprimento faz com que seja uma vantagem importante na constituição dos pavimentos semirrígidos. Caso contrário, ocorre na ligação na vertical do protótipo ao pavimento já existente, como foi referido anteriormente. É de fundamental importância referir que o pavimento não será o problema para efeito de tensões, senão a dita ligação a ser analisada neste subcapítulo. Apresentam-se a seguir algumas hipóteses de ligação do protótipo com o pavimento do tipo flexível (Tabela 9).

Tabela 9 - Propostas de ligação módulo Pavnext-pavimento rodoviário

| Solução                                              | Vantagens                                                                                                  | Desvantagens                                                                           |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Selagem com betão de cimento autocompactável         | Fácil aplicação<br>Boa resistência                                                                         | Desgaste superficial<br>Presa demorada<br>Cor diferente ao pavimento                   |
| Selagem com betão betuminoso                         | Boa resistência<br>Cor do pavimento                                                                        | Infiltração da água<br>Não aplicável em pequenos cortes                                |
| Selagem com resina epóxi                             | Fácil aplicação<br>Utilizado na área de pavimentos <sup>1</sup>                                            | Endurecimento demorado                                                                 |
| Selagem com argamassas de presa rápida               | Fácil aplicação<br>Boa resistência<br>Endurecimento rápido<br>Utilizado na área de pavimentos <sup>2</sup> |                                                                                        |
| Selagem com silicone autonivelante                   | Fácil aplicação                                                                                            | Endurecimento demorado<br>Cor diferente ao pavimento<br>Utilizado em pequenas fissuras |
| Selagem através de uma junta de borracha de neopreno | Resistência média<br>Evitar o desgaste dos bordos na peça de suporte                                       | Criação de uma peça única<br>Aplicação complexa                                        |

Assim, conclui-se que a utilização das argamassas de endurecimento rápido para selagem e fixação em pavimentos rodoviários é a mais apropriada para a referida ligação. Para tal, foi escolhida a argamassa da Sika, designada *FastFix-138 TP*, sendo esta uma argamassa feita à base de cimentos especiais e agregados selecionados. Após a mistura com a água, é obtida uma mistura de cor escura semelhante à superfície asfáltica. Utilizada principalmente para a selagem e fixação de caixas de visita e tampas de saneamento, tem uma boa aderência ao betão e ao asfalto, sendo possível a sua implementação quer na ligação módulo-pavimento, quer na selagem do corte destinado à passagem de cabos no pavimento. De outra maneira, esta solução pode ser implementada em qualquer tipo de pavimento rodoviário, especialmente em pavimentos flexíveis e em calçada.

<sup>1</sup> Utilizado na execução de juntas nos pavimentos rígidos e na reparação de danos nos bordos das juntas.

<sup>2</sup> Utilizada para a reparação de betão e fixação de coletores, tampas de esgotos e mobiliário urbano.

Por outro lado, esta argamassa é utilizada na fixação de luzes de aterragem em aeroportos e na instalação de caixas de telecomunicações, sendo que a sua composição química é isenta de cloretos e outros aditivos promotores de corrosão. Portanto, também será possível a sua utilização para a fixação dos marcadores rodoviários, nomeadamente dos marcadores isolados que dão aviso à entrada do sistema e dos marcadores em série que sinalizam a passagem para peões, assim como, para a fixação dos sensores para peões.

O produto é aplicado em reparações em que é necessário minimizar o período de interrupção de serviço, permitindo a abertura rápida ao tráfego (aproximadamente em 2 horas a  $+20^{\circ}\text{C}$ ). Segundo as especificações técnicas deste material, existe a possibilidade de adicionar agregados à mistura para grandes enchimentos. Sendo que a sua consistência é ajustável, pode ser usado com consistência seca para selagem, podendo ser vibrado se necessário, ou plástica para fixação e/ou enchimento. O *FastFix-138 TP* permanece trabalhável por cerca de 15 minutos à temperatura de  $+20^{\circ}\text{C}$  (Figura 38).



Figura 38 - Demonstração gráfica da argamassa de endurecimento rápido para selagem e fixação em pavimentos rodoviários *FastFix-138 TP- Sika*

#### 4.3.4. ACESSÓRIOS: PROJETO DE INSTALAÇÃO

Para além da instalação dos módulos geradores de energia, serão descritos os restantes elementos que complementam a sua performance, assim como as características funcionais de cada um.

Em primeiro lugar, encontram-se os marcadores rodoviários criados pela *Pavnext*, compreendidos pelos marcadores isolados, localizados antes de dar entrada no sistema, e pelos marcadores em série, localizados antes da passadeira. Ambos funcionam com o mesmo princípio, sendo os dois marcadores LED de luz branca com uma altura de aproximadamente 9,0 cm (dos quais 7,0 cm ficam embutidos no pavimento e somente 2,0 cm ficam fora do pavimento). No entanto, variam em comprimento, em funcionalidade e no método de instalação.

Os marcadores isolados dão aviso aos condutores sobre a entrada no sistema gerador de energia. Para a sua implementação, é necessário furar o pavimento através do processo de carotagem de, aproximadamente, 18 cm de diâmetro. Aí serão implementados através de uma estrutura metálica que será fixada à cavidade cilíndrica do pavimento com argamassa. Os marcadores estarão localizados antes da marcação de quadrados, sendo que, caso seja implementado numa faixa com várias vias, os

marcadores do meio da estrada estarão alinhados com a marcação longitudinal existente na via e os marcadores dos extremos estarão alinhados com o final dos quadrados. Portanto, serão necessários, como mínimo, dois destes marcadores para o caso mais simples com uma via.

Os marcadores em série têm como objetivo sinalizar a passadeira, maximizando o aviso de perigo ou alerta aos condutores, sendo acionados assim que um veículo entra no pavimento *NEXT-Road*. Estes marcadores têm uma largura de 14 cm, e serão implementados através de uma estrutura metálica que será fixada à escavação com argamassa (mesma técnica utilizada para a fixação dos marcadores isolados). Cada protótipo tem um comprimento de 50 cm, sendo assim necessário aplicar 5 protótipos consecutivos por via e, neste caso, 17 marcadores no total das 3 faixas (deixando um espaço de 25 cm entre a valeta e o marcador, para cada lado da faixa de rodagem).

Como segundo acessório, temos os sensores de peões que estão localizados no passeio e têm como principal função detetar os peões que pretendem atravessar a passadeira. O sistema trabalha em conjunto com os marcadores em série, sendo que, quando os sensores são ativados, as luzes LED são ligadas. O protótipo criado, também pela Pavnext, é um sistema modular, em que cada sensor tem uma dimensão de 0,4x0,6 m, sendo que a sua implementação irá ocupar um espaço de 0,4x2,4 m em cada passeio. Os sensores têm uma altura igual de 4,0 cm e estes estarão embutidos no pavimento do passeio de forma a não existir uma diferença de cotas entre eles.

Por outro lado, temos a sinalização vertical luminosa que pode ser dividida, segundo a sua utilidade, em passagem para peões e em pavimento redutor de velocidade. Uma vez que os sinais são iluminados a LED, estes terão ligação elétrica com o armário elétrico. Como o próprio sinal tem sensores e é atuado por comando, para além de cabos para energia, precisa de cabos para comunicação, podendo ainda ter comunicação *wireless* com a restante eletrónica. Quanto às características dos sinais, optou-se por quadrados de dimensão reduzida, igual a 60x60 cm com fundo azul, com uma orla exterior de cor branca de 2,0 cm de largura e os cantos com um raio interior igual a 2,0 cm (segundo o Regulamento de Sinalização de Trânsito). Os símbolos e os caracteres são de cor preto com um fundo branco, sendo que, no caso do sinal da passagem para peões, o fundo é um triângulo equilátero e, no caso do sinal do pavimento redutor de velocidade, o fundo é um quadrado. No que toca à instalação, poderão ser fixados em postes existentes ou em outro tipo de suporte, sendo que estes têm uma base cúbica de betão de, aproximadamente, 50x50x50 cm. Segundo o Regulamento de Sinalização de Trânsito, a altura mínima de colocação destes sinais, fixados em postes ou em outro tipo de suportes, é de 2,0 m e, como são considerados sinais de informação, devem ser colocados na proximidade imediata do local a que se refere a indicação transmitida pelo sinal.

Como foi mencionado anteriormente, a sinalização que anuncia a passagem para peões e que se adequa aos sinais utilizados regularmente nas estradas (correspondente ao H7 no Regulamento de Sinalização do Trânsito) está localizada à entrada da passadeira.

O sinal vertical localizado antes da entrada no sistema *NEXT-Road* (alinhado com a marcação de quadrados) serve como aviso da mudança na superfície do pavimento. Sendo este sistema uma novidade, será necessário a criar o sinal gráfico com indicação de aproximação à via equipada com o sistema *NEXT-Road*, onde se assinala a redução de velocidade (Figura 39). Uma vez que este tipo de simbologia é uma criação da Pavnext, é necessário que a proposta seja validada e aceite pelo IMT, I.P.. Justo por baixo do sinal haverá um painel informativo de fundo branco com caracteres a preto, com indicações referentes ao sistema. As dimensões do painel retangular devem ter em conta a dimensão do sinal e, portanto, terá uma dimensão de 30,0x12,0 cm com uma orla exterior de 0,6 cm de largura. Recomenda-se o uso de painéis de informação diversa, portanto o modelo n.º 14, que indica a possibilidade de ocorrência de determinadas circunstâncias que convém dar a conhecer ao utente. O painel fornece

informação sobre o sistema, especificando um comunicado sobre a redução da velocidade (por exemplo “Pavimento Redutor de Velocidade”) (Figura 40).

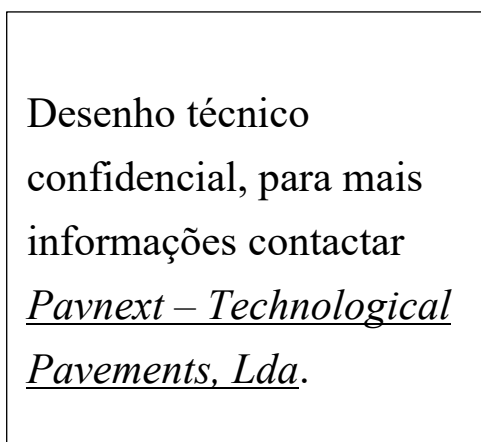


Figura 39 - Sinalização vertical que indica a aproximação ao sistema *NEXT-Road*

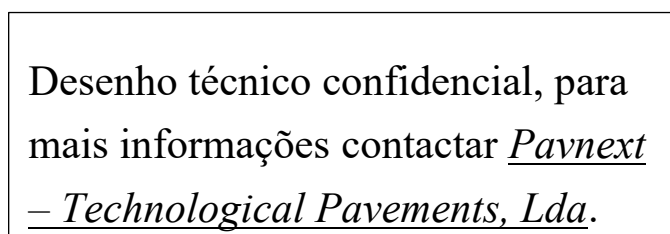


Figura 40 - Painel informativo que acompanha o sinal vertical da *Pavnex*

Finalmente, o armário elétrico, localizado no passeio de modo que não perturbe a passagem das pessoas e com fácil acessibilidade para comando dos aparelhos neles instalados, conterá como suporte uma laje de betão. O armário ocupa uma área em planta de 0,3x0,6 m, tendo uma altura de aproximadamente 0,8 m. O suporte enterrado de betão terá as mesmas dimensões que o armário em si. É neste elemento que irão permanecer as baterias com a finalidade de armazenar a energia gerada, e os restantes elementos que fazem parte do sistema elétrico. A cablagem é destinada à ligação com os equipamentos recetores de energia (sinais verticais luminosos e marcadores LED- isolados ou em série) com o armário elétrico, dos emissores de energia (módulos *Pavnex*) com as baterias e dos sensores de peões com os marcadores LED em série.

Deste modo, é importante ter em consideração que a descrição pormenorizada do funcionamento dos restantes elementos criados pela *Pavnex* (marcadores, sensores e sinais verticais), e do método de instalação de cada um, não compete com os objetivos desta dissertação, sendo assim, só serão caracterizados por meio de noções básicas.

Por outro lado, a marcação rodoviária proposta é composta por dois elementos. Em primeiro lugar, está o corredor destinado aos motociclos, localizado antes da entrada no sistema *NEXT-Road*, que tem como objetivo indicar aos veículos de duas rodas (especificamente aos motociclos) a aproximação ao sistema. A marcação longitudinal no centro da faixa de rodagem disporá de uma cor azul (proposta pela *Pavnex*, mas podendo ser alterada caso isso seja recomendado pelas autoridades competentes), com o símbolo representativo de motociclos e com uma seta branca a indicar a direção a cada 3,75 m, tendo este "corredor" um comprimento total de 15,0 m e 0,4 m de largura. Sendo que este tipo de marca rodoviária

é uma proposta de criação da Pavnext, é necessário que a proposta seja validada e aceite pelo IMT, I.P. (Figura 41).

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar Pavnext – Technological Pavements, Lda.

Figura 41- Pormenor da marcação do corredor central destinada aos motociclos

Como foi referido no capítulo anterior, encontra-se, também, a marcação de quadrados a indicar a elevação vertical do pavimento. As marcas transversais usadas para assinalar a entrada das lombas redutoras de velocidade correspondem ao M11b segundo o Regulamento de Sinalização de Trânsito. Este é constituído por duas marcas transversais idênticas, constituídas, cada uma delas, por duas filas de quadrados, alternando a cor branca com a do pavimento e produzindo um efeito de xadrez. Apesar do sistema da Pavnext não ser considerado uma lomba, envolve uma alteração vertical do pavimento, pelo que propomos a utilização desta marcação, colocada em toda a largura da via em que o protótipo esteja instalado. No caso da proposta da Pavnext, esta marcação é implementada só à entrada do sistema (Figura 42).

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar Pavnext – Technological Pavements, Lda.

Figura 42 - Figura representativa das marcas rodoviárias

#### 4.4. ANTEPROJETO

Nesta fase do Projeto de Implementação, é importante verificar que os diferentes regulamentos sejam respeitados, assim como justificar as opções adotadas, designadamente ao nível das instalações. Em vista disso, serão apresentados os dados que se tem de ter em consideração de modo a organizar e estabelecer informações concisas que permitam otimizar o método de instalação independentemente do local. Esta listagem vai definir e detalhar todos os elementos necessários do local, sendo indispensáveis para a execução da obra, assim como, para auxiliar o responsável da obra.

- Informação geral do tráfego: análise da rede viária da zona urbana em questão, deve existir um volume de tráfego significativo para assegurar que o sistema seja economicamente rentável;
- Medidas da(s) faixa(s) de rodagem, nomeadamente inclinações transversais e longitudinais, e comprimentos e larguras;
- Número de vias por faixa de rodagem;
- Sentido(s) de circulação;

- Localização da passareira na estrada em questão: medidas em planta (com respeito ao posicionamento do sistema de PEH) e se este se encontra em curva ou em reta;
- Tipo de pavimento: flexível, calçada, semirrígidos ou rígidos;
- Localização do sistema de drenagem atual, especificamente as tampas de esgoto das águas pluviais, os sumidouros e as ligações entre eles, através de medidas com respeito ao posicionamento do sistema de *Energy Harvesting*;
- Verificar que os diferentes dispositivos de drenagem superficial existentes na zona devam estar desobstruídos ou, quando for o caso, mesmo a sua completação quando quebrados;
- Localização dos sinais rodoviários existentes: sinalização vertical e marcação rodoviária;
- Existência de postes de iluminação e armários de distribuição;
- Existência de um possível desvio na via (entretanto realizam-se os trabalhos);
- Posicionar de forma aproximada os elementos de sinalização do sistema (nova sinalização vertical, quadro elétrico, marcadores LED e a passagem dos cabos) de forma a respeitarem as medidas das distâncias mínimas e garantindo que não exista uma saturação da sinalização rodoviária;
- Verificar se os equipamentos e as maquinarias a serem empregues no processo de construção poderão ser proporcionados pela Câmara ou, quando não, contactar os respetivos fornecedores;
- Segundo o Caderno de Encargos tipo dos Métodos Construtivos, “...se a gestão dos produtos fresados for omissa em projeto, deverá o adjudicatário apresentar uma proposta, a validar pela Fiscalização, com a definição do procedimento a adotar que deverá privilegiar a reciclagem/valorização dos materiais...”. Portanto, caso a respetiva Câmara decida reciclar ou reutilizar o material retirado da camada superficial, este deverá ser fresado. A Câmara pode reciclar o dito material, podendo, por exemplo, ser aproveitado em técnicas de conservação ou de reabilitação das características superficiais de outras vias presentes no concelho. Caso contrário, será necessário definir previamente o destino dos ditos resíduos, devendo-se apresentar uma proposta de modo a indicar o lugar e o procedimento a adotar na gestão do material retirado.

#### 4.5. PROJETO DE EXECUÇÃO

Sendo o Projeto de Execução a fase mais importante de todas, detalhar-se-á as diferentes etapas em que vai ser realizado o processo de instalação. Para além de apresentar em pormenor as várias etapas de cada fase, será especificado o tipo de equipamento e os materiais a serem empregues, assim como, outras condições técnicas a ter em consideração neste processo.

Por outro lado, a justificação por escrito dos trabalhos a serem realizados irá formar parte dos documentos de comunicação. Estes documentos podem ser peças desenhadas para mais fácil compreensão, que serão necessários de forma a otimizar a implantação e execução da obra.

##### 4.5.1. PROCESSO DE INSTALAÇÃO

*Passo 1:* Limitação da área a intervir

Com a assistência dos elementos de segurança, é necessário desviar o tráfego para vedar a zona da rua onde vão ser realizados os trabalhos. Com a utilização das medições realizadas no Anteprojeto e presentes nas peças desenhadas, forma-se a zona a ser limitada pela área de trabalho, tendo em conta as dimensões dos equipamentos a serem utilizados posteriormente, de forma a garantir uma boa manobra

dos mesmos. É importante salientar que, se existirem veículos estacionados nas vizinhanças da zona de trabalho, sendo que os veículos possam estar em perigo de serem danificados ou que possam interromper a correta operação dos equipamentos, deve-se vedar a dita área com um ou dois dias de antecedência ao início da obra para assegurar o espaço livre. Para além disso, efetua-se a disposição da sinalização vertical temporária de forma a prevenir eventuais imprevistos em termos de segurança rodoviária, assinalando o(s) desvio(s) possíveis (caso seja necessário), o aviso aos condutores do início dos trabalhos a ocorrerem na via, o limite de velocidade permitido na zona e o aviso do fim da zona de trabalho.

#### *Passo 2: Limpeza do pavimento*

Com a utilização de vassouras ou máquinas varredoras aspiradoras urbanas, é realizada a limpeza do pavimento da zona limitada para prevenir qualquer inconveniente com a máquina de discos de corte.

#### *Passo 3: Marcação temporária*

A marcação no pavimento dos locais onde serão feitos os cortes é realizado com giz de cor contrastante (p. ex., amarelo), no caso em que a camada superficial seja de betão betuminoso ou qualquer outro tipo de ligante hidráulico (caso de pavimentos flexíveis, semirrígidos ou rígidos). Para pavimentos do tipo calçada, basta localizar as filas e/ou as colunas de paralelepípedos a serem retirados depois. A utilização de um molde (p.ex., de cartão) com as dimensões exatas da escavação irá garantir uma rápida e fácil marcação no pavimento. A localização e marcação dos espaços onde serão instalados os restantes elementos, como o quadro elétrico e o sistema de drenagem, será feita neste passo. Portanto, o espaço total da vala é composto pelo sistema em si, pelo sistema de drenagem e pelo sistema elétrico, assim como devem ser pormenorizados nas peças desenhadas apresentadas nas etapas anteriores. Também, após a identificação da localização dos sinais verticais luminosos, dos marcadores rodoviários e do quadro elétrico, devem-se marcar os locais onde passam os fios que ligam os ditos elementos com o quadro elétrico. É importante ter em conta as distâncias mínimas que devem existir entre sinais verticais e entre os marcadores rodoviários e a passadeira.

#### *Passo 4: Escavação*

Como foi referido anteriormente, o corte da camada superficial dos pavimentos flexíveis, semirrígidos ou rígidos (quer dizer, das camadas superficiais aglutinadas com ligante hidráulico), será feito através da técnica de serragem com uma máquina com disco de corte, em que o corte é realizado a uma profundidade determinada previamente e que dependerá do tipo da peça de suporte do sistema. Após a realização do corte do pavimento, tendo como guia a marcação temporária efetuada no passo anterior, procede-se à abertura da vala por meio de uma minirretroescavadora. No caso da calçada, poderá ser realizado com a minirretroescavadora diretamente, sem a utilização da serra. Como foi descrito no Anteprojeto, os resíduos sólidos fragmentados deverão ser compilados numa área previamente definida, sendo que deverá permitir o acesso de um camião basculante para que sejam transportados ao sítio previamente definido.

Assim como foi descrito anteriormente, caso o material superficial seja reciclado ou reutilizado, deverá ser efetuada a fresagem das camadas betuminosas (no caso dos pavimentos flexíveis ou semirrígidos). A máquina fresadora faz com que o material das camadas superficiais do pavimento seja transformado em partículas muito pequenas, podendo assim, ser diretamente encaminhado para o processo de reciclagem. Desse modo, este procedimento é realizado através de máquinas fresadores ou acessórios fresadores que podem ser anexados a outras máquinas com objetivos diferentes, por exemplo, em retroescavadoras. Paralelamente, realiza-se a abertura da vala do marcador rodoviário criado pela *Pavnext*, tendo em consideração o projeto de instalação dos acessórios estipulado no Estudo Prévio.

Recomenda-se o uso de um martelo pneumático para retirar o material betuminoso da camada superficial, previamente cortada com o disco de corte, à exceção da escavação destinada aos marcadores isolados que poderá ser realizada através da máquina perfuradora de forma a obter uma abertura cilíndrica o mais precisa possível. Em síntese, os equipamentos empregues nesta fase são os seguintes: serra ou máquina cortadora de asfalto, minirretroescavadora, máquina fresadora ou acessório fresador, caminhão basculante, martelo pneumático e máquina perfuradora.

#### *Passo 5: Instalação do sistema de drenagem*

A instalação do sistema de drenagem, que irá conduzir a água pluvial que chega ao interior do módulo para o sumidouro mais próximo, terá maior protagonismo nesta fase. A colocação das tubagens e dos seus acessórios é fundamental neste ponto, devido a que, se o sistema apresentar alguma fuga de água, esta poderá ser infiltrada no solo da base (ou sub-base) do pavimento, causando patologias na superfície e perturbando o correto funcionamento do sistema.

A vala destinada à ligação do sistema com o(s) sumidouro(s) é onde assentarão as tubagens de Polietileno Reticulado (PEX) de 63 mm de diâmetro. A ligação com o sumidouro será feita através de um orifício realizado na parede lateral deste (à profundidade que indique as peças desenhadas do Anteprojeto), com a utilização do martelo pneumático. É também importante verificar que cumpra com a inclinação mínima descrita no dito Projeto (que pode variar entre 1 e 5%). A extensão total da tubagem que será necessário instalar dependerá do local, sendo que serão unidas entre elas através de acessórios de forma a garantir uma ligação hermética no sistema de drenagem.

#### *Passo 6: Espalhamento e compactação dos materiais granulares*

Tendo como propósito principal a instalação dos módulos, a superfície do solo agora exposto, deverá estar a mais homogênea e compacta possível de forma a garantir um adequado assentamento do sistema. É por isso que surge a necessidade deste passo, sendo que os materiais granulares britados a serem espalhados podem ser de origem natural ou reciclado. Para além disso, recomenda-se o uso de um agregado fino de granulometria extensa cuja maior parte passe no peneiro de 20 mm. Tem de se garantir que a superfície do solo tenha a menor quantidade de agregados grossos para assim não dificultar a colocação, o encostamento e o nivelamento de cada módulo, após o revestimento deste. Conjuntamente, procede-se ao enchimento da vala onde assenta o sistema de drenagem, tendo em conta que se deve deixar à vista o extremo da tubagem para posteriormente poder ser conectado aos módulos.

Para além disso, neste passo, é primordial o controlo da compactação. Após o espalhamento, o agregado será compactado através de uma placa vibratória ou, para o caso em que a dimensão da vala seja muito extensa (como o apresentado no Programa Base, com uma extensão total de 20 m) poderá ser usado um cilindro vibrador. De modo a cumprir com a legislação portuguesa, antes da compactação, deve ser verificado o teor em água do material e, caso se justifique, deve proceder-se à sua correção. Se o teor em água for excessivo, a camada deve ser escarificada de modo a facilitar a sua secagem ou, caso contrário, deve proceder-se a uma distribuição uniforme e rápida de água, empregando-se para tal carros tanques de pressão, cujo jato deverá cobrir a largura total da área a tratar.

#### *Passo 7: Verificação da profundidade na periferia da vala*

Antes da instalação do módulo, é necessário verificar a distância entre a superfície da camada de solo recém compactado e a superfície do pavimento na sua periferia. Desse modo, a profundidade vai depender do tipo da peça de suporte a ser implementado. Para o caso da versão 1 (caixa de betão armado), deve ser igual à altura da caixa, sendo esta igual a 32,6 cm. Para o caso da estrutura metálica, a profundidade da vala deve ser igual a 24,0 cm. Pode ser medido simplesmente com uma fita métrica ou qualquer outro instrumento de medição.

#### *Passo 8: Regularização da superfície da vala*

Sendo que esta etapa do processo é crucial para garantir uma boa ligação entre o suporte do módulo e a sua envolvente, temos de dar especial atenção ao solo da vala que foi previamente compactada. No desenvolvimento de um projeto em grande escala, como é no caso da colocação dos 10 módulos em série, somando um total de 20 m, o solo superficial da vala deve ser regularizado através de umas estacas cravadas no solo a uma profundidade conhecida (igual à altura do módulo) e, com a utilização de uma régua, será necessário nivelar a superfície até que se encontre na profundidade certa. É possível voltar a compactar o solo caso exista uma discrepância significativa nos valores obtidos.

É de grande importância que nesta fase o solo fique o mais uniforme e plano possível para garantir uma boa ligação e o assentamento do módulo no solo de fundação, assim como para que o dito solo não entre em contacto com água durante a construção, para assim assegurar que não existam infiltrações indesejadas. As paredes laterais da vala também devem ser regularizadas de modo a garantir uma boa ligação com a argamassa de fixação e o completo isolamento do módulo.

#### *Passo 9: Colocação dos módulos*

Esta fase está destinada à colocação do suporte dos módulos mais as células previamente ajustadas à peça de suporte com os respetivos cabos, que serão posteriormente ligados ao sistema elétrico, em conjunto com o corredor central. Deve ser referido que, antes das células serem colocadas dentro do suporte, o interior deste deve estar limpo e sem nenhum resíduo granular para evitar entupimentos no sistema de drenagem de água. No assentamento e colocação do sistema dentro da vala, deve-se tomar em conta o posicionamento do primeiro módulo (caso o projeto esteja destinado à colocação de dois ou mais módulos), devido a que este será o ponto de partida para a disposição dos restantes módulos. O equipamento ideal a utilizar nesta fase é um camião grua, de modo a garantir que o módulo consiga ser manobrado de forma simples sem se danificar. Como foi mencionado anteriormente, ambas as versões de suporte estão especialmente desenhadas para garantir o transporte e a manobra deles: a caixa de betão apresenta uma série de ranhuras de cada lado, de forma a que, quando seja assente no solo, as fitas possam ser retiradas sem nenhum inconveniente e, por outro lado, o transporte da estrutura metálica será feito através dos orifícios destinados à drenagem da água interna do sistema. Nesta fase é imprescindível enlaçar e conectar as tubagens de drenagem e os orifícios onde passará o sistema elétrico de módulo a módulo.

#### *Passo 10: Instalação dos acessórios complementares ao sistema: quadro elétrico, marcadores rodoviários e sinalização vertical luminosa*

Segundo o projeto de instalação dos elementos complementares do sistema indicado no Estudo Prévio, estes devem ser instalados e ligados entre si e, seguidamente, ligados ao quadro elétrico. De forma a otimizar o método construtivo, a execução das bases em betão, quer do quadro elétrico, quer da sinalização vertical luminosa, podem ser realizadas em simultâneo com os outros passos, após a realização da marcação temporária e das aberturas das respetivas valas.

#### *Passo 11: Ligação do sistema aos elementos exteriores*

Após os módulos estarem devidamente assentes, neste passo será realizada a ligação do sistema modular aos restantes elementos, nomeadamente do sistema de drenagem e do sistema elétrico. Nesta fase é realizada a conexão do sistema de drenagem, previamente instalado, e a colocação dos respetivos acessórios. Por outro lado, o sistema de cablagens também irá ser conectado, ligando os marcadores rodoviários, os sinais verticais luminosos e o sistema em si ao quadro elétrico, e os marcadores LED da passadeira com os sensores de peões, através das ranhuras feitas com o disco de corte.

#### *Passo 12: Instalação do corredor central*

De seguida é feita a instalação do corredor central, sendo este o último passo no que se refere à instalação da superfície do protótipo. Como foi referido anteriormente, o corredor central é constituído por duas partes para cada módulo, em que cada uma das peças tem uma dimensão igual a 0,4x0,9m e pesa aproximadamente 44 Kg., sendo assim possível que a sua colocação seja feita manualmente.

#### *Passo 13: Fecho e selagem do pavimento*

Após estarem todos os elementos devidamente conectados e ligados entre si e ao exterior, segue-se a parte mais importante do projeto, que vai garantir que o sistema perdure no tempo. Trata-se da ligação da caixa de suporte dos módulos com o pavimento já existente. Em primeiro lugar, é de salientar que antes de selar o pavimento, deverá ser realizada a limpeza do mesmo com jato de ar-comprimido, para assim assegurar uma correta ligação do material com a superfície. Deve-se tomar em conta a análise realizada no Estudo Prévio, em que foram identificados vários tipos de soluções para o fecho e selagem do pavimento, dependendo do tipo de pavimento em que se encontre embebido. É importante ter em consideração o tempo de secagem da argamassa utilizada (no caso dos pavimentos flexíveis) ou o controlo de compactação para nivelar os cubos com o sistema (no caso da calçada). O tempo de secagem ou de presa do material utilizado nesta fase irá estabelecer o tempo em que o trecho da via deverá permanecer fechado.

#### *Passo 14: Marcação rodoviária permanente*

Após a instalação de todos os elementos, deve-se limpar a periferia dos mesmos de modo a que o pavimento possa ser sinalizado por meio da marcação rodoviária. Como foi referido no capítulo anterior, a tinta a ser utilizada será branca e azul, sendo este sinal uma marca permanente que sinalizará a entrada no corredor central aos veículos de duas rodas e a entrada no sistema aos veículos em geral (através da sinalização que indica o desnível nas LRV). Sendo que a implementação deste sistema é orientada para zonas consideradas “dentro da localidade”, o tipo de tinta a ser utilizado não poderá ser retrorrefletora. O uso de tintas retrorrefletoras considera-se em projetos que se encontrem fora da localidade, como por exemplo nas autoestradas.

#### *Passo 15: Reabertura da via*

Como foi mencionado anteriormente, o tempo de secagem das marcas rodoviárias e da argamassa utilizada na ligação do módulo- pavimento rodoviário, define o tempo em que a zona permanecerá encerrada ao trânsito, sendo este de aproximadamente um dia (24 horas).

### 4.5.2. DOCUMENTOS DE COMUNICAÇÃO

De forma a permitir a perfeita compreensão, implantação e execução da obra e otimizar o método de instalação, devem ser apresentados os documentos escritos e desenhados a serem comunicados aos responsáveis pela implementação do sistema *NEXT-Road*. As peças escritas e outros elementos gráficos (peças desenhadas), adequados a cada proposta desenvolvida para a zona a intervir, devem ser previamente submetidos às entidades licenciadoras.

O esquema geral da implementação do sistema apresenta a planta do local equipado com o sistema de PEH, com as respetivas distâncias entre o sistema e os outros elementos existentes na via. Os perfis, transversal e longitudinal, servem para identificar as respetivas inclinações da(s) via(s), de forma a simplificar a análise da instalação dos módulos e do sistema de drenagem.

As peças desenhadas que acompanham o projeto de execução classificam-se em três. Em primeiro lugar, temos o projeto de instalação civil que atende às medidas em planta dos cortes e das respectivas profundidades de escavação necessárias para a implementação dos módulos e dos restantes elementos complementares. A profundidade dos cortes e das escavações dependerá de cada elemento, sendo que de modo geral, opta-se pelos seguintes valores:

- Sensor de peões: 0,04 m;
- Marcadores rodoviários: 0,09 m;
- Módulos: 0,35 m;
- Sinais verticais luminosos: 0,50 m;
- Armário elétrico: 0,80 m.

Para além disso, os cortes destinados à colocação do sistema de cablagem têm uma profundidade de 0,15 m e uma largura de 0,01 m aproximadamente (pode ir até os 0,02 m), de forma a garantir uma adequada proteção desta componente. As medidas apresentadas no projeto de instalação civil (comprimentos dos cortes necessários em planta) devem ser respeitadas, admitindo-se tolerâncias que devem ser definidas previamente para cada elemento.

Por outro lado, encontra-se o projeto de instalação elétrica onde se expõe o esquema do circuito elétrico, sendo que a canalização elétrica é enterrada com a ligação ao quadro elétrico. O circuito elétrico conduz uma corrente contínua, de baixa potência, com valores de corrente máxima inferiores a 16 A, assim como tensões baixas, sempre inferiores a 100 V. Geralmente, o quadro elétrico conta com três entradas, sendo que duas delas correspondem à ligação com a sinalização vertical e os marcadores rodoviários (pontos de luz antes e depois do sistema), e a entrada restante corresponde à ligação com os módulos geradores de energia. Ainda no que se refere ao quadro elétrico, este deverá dispor de ligação à terra e ao ramal de ligação existente, sendo que este último dependerá das entidades competentes.

Finalmente, no projeto de sinalização apresenta-se a posição dos restantes elementos complementares ao sistema *NEXT-Road*, nomeadamente a sinalização vertical luminosa (o(s) sinal(s) H7 e a proposta da *Pavnext*), os marcadores rodoviários criados pela *Pavnext* e a marcação horizontal antes da entrada ao sistema.

#### 4.6. RECURSOS NECESSÁRIOS

Os recursos necessários para a implementação do sistema podem ser subdivididos em dois elementos, os equipamentos e os recursos em termos legais. No que diz respeito aos equipamentos, está conformado pela maquinaria, a sinalização de trânsito e os elementos extras. Embora as maquinarias dependam da magnitude da obra, serão apresentados os equipamentos considerados indispensáveis na realização das obras de implementação do sistema. Em conformidade com o Projeto de execução, e de forma a simplificar e otimizar o processo de licenciamento com as entidades competentes, sugere-se a utilização dos equipamentos apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Equipamentos necessários para a implementação do sistema num pavimento existente

Tabela confidencial, para mais informações contactar *Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Relativamente aos recursos necessários, temos de ter em consideração que, para o caso em que o sistema seja implementado numa via pública, é indispensável que a Licença de ocupação da via pública seja outorgada pela Câmara ou a entidade competente.

A aplicação da argamassa destinada à fixação dos componentes no pavimento rodoviário deverá ser compatível com as intervenções a serem realizadas e com as características climáticas do local. É por isso que deverão ser apresentadas as especificações técnicas do material de modo a cumprir com as suas exigências de utilização.

Ainda no referente aos materiais e equipamentos necessários, é importante especificar os possíveis fornecedores dos materiais e equipamentos, sendo a mesma entidade licenciadora um provedor viável.

#### **4.7. SÍNTESE CONCLUSIVA**

Desta forma, o Projeto de Implementação genérico dispõe da instalação do sistema através de seis componentes: módulos *Pavnext*, marcadores rodoviários (isolados e em série), sensor de peões, sinalização vertical luminosa (passagem para peões e aproximação ao pavimento redutor de velocidade), quadro elétrico e cablagens, e a marcação rodoviária (quadrados indicadores de LRV e corredor para os veículos de duas rodas).

No Estudo Prévio, foram realizados estudos sobre o módulo em si (no que se refere à peça de suporte, ao sistema de drenagem e à ligação dos módulos com a sua envolvente) e sobre os restantes elementos.

Concluiu-se então que, considerando o sistema de drenagem, desde o interior do módulo até ao sumidouro, e assumindo a intensidade de precipitação mais crítica, segundo o IPMA, de 100 mm/h, podemos optar por uma tubagem com diâmetro nominal igual a 50 mm ou 63 mm. Também, dentro do terreno, deve-se cumprir com uma inclinação mínima de 2% de forma a garantir o escoamento da água a uma certa velocidade.

Por outro lado, a utilização da argamassa de endurecimento rápido, *FastFix-138 TP* da *Sika*, para selagem da ligação módulo *Pavnext*-pavimento rodoviário, poderá ser utilizada para a fixação do resto dos elementos, nomeadamente dos marcadores rodoviários, dos sensores de peões e do quadro elétrico, assim como para a selagem dos cortes destinados à passagem de cabos dentro do pavimento. O documento que define as especificações técnicas desta argamassa encontra-se nos anexos desta dissertação.

Para efeitos de instalação dos restantes elementos complementares ao sistema PEH, é necessário que as propostas realizadas pela empresa sejam validadas e aceites pelo IMT, I.P. Deste modo, devem ser submetidas para aprovação a proposta do sinal vertical luminoso que indica a entrada no pavimento redutor de velocidade (simbologia e painel informativo adjunto) e da marcação rodoviária destinada aos veículos de duas rodas.

No Anteprojeto foi possível identificar os dados e as informações necessárias para a execução das peças desenhadas e, conseqüentemente, para a execução da obra, de forma a respeitar os diferentes regulamentos e justificar as soluções adotadas. Dessa forma, o processo de realização dos projetos auxiliares será otimizado e simplificado.

Através do Projeto de Execução, foi possível planejar o método de instalação do sistema e, de acordo com as peças desenhadas, reuniu-se os documentos de comunicação necessários para os responsáveis da instalação do sistema *NEXT-Road*. Portanto, os projetos auxiliares necessários nesta fase são: o projeto de instalação civil, o projeto de instalação elétrica e o projeto de sinalização. As especificações técnicas dos materiais empregues na instalação são, também, documentos que devem ser comunicados aos responsáveis da obra.

Finalmente, foram sintetizados os Recursos necessários para a implementação do sistema PEH, subdivididos especificamente em equipamentos e recursos (licencias e/ou documentos legais).

Embora cada solução seja diferente, este projeto serve como guia de forma a simplificar o processo de implementação e, no futuro, servirá como uma espécie de Caderno de Encargos e como justificação das soluções adotadas no sistema.

# 5

## CASO DE ESTUDO

### 5.1. ENQUADRAMENTO

Neste capítulo será apresentado e analisado o Projeto de Instalação do teste piloto que foi submetido à Câmara Municipal de Matosinhos e que se encontra anexo nesta dissertação. É importante salientar que o propósito desta instalação piloto visa demonstrar o protótipo do sistema num ambiente espacial e real, sendo este documento baseado no Projeto de Implementação apresentado no capítulo anterior.

Apresenta-se, então, a descrição do local e dos elementos existentes, tais como a sinalização de trânsito existente e as características físicas da estrada. São também explicados os diferentes cenários propostos para a CMM, através da planta e dos perfis longitudinal e transversal para cada caso.

Como já se referiu anteriormente, as peças desenhadas necessárias na execução da obra podem ser classificadas em três grupos. Por isso, apresentam-se os projetos técnicos auxiliares, nomeadamente o projeto de instalação civil, o projeto de instalação elétrica e o projeto de sinalização para cada cenário proposto.

Finalmente, apresenta-se a viabilidade técnica do projeto submetido à CMM, que se fundamenta, principalmente, na análise realizada por parte da câmara.

### 5.2. DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO PILOTO

De seguida é apresentada a instalação piloto a implementar em ambiente real, abordando a zona a intervir. O projeto piloto situa-se na Rua de Alfredo Cunha, Matosinhos (Figura 43), na via adjacente à CMM (mais especificamente junto ao Centro de Monitorização e Interpretação Ambiental de Matosinhos), sendo que a extensão da zona a ser intervencionada tem um comprimento de aproximadamente 45 m (Figura 44 e Figura 45). O protótipo irá ser instalado entre duas passadeiras, ocupando três vias de 3,0 m cada uma, perfazendo assim uma largura total de 9 m.

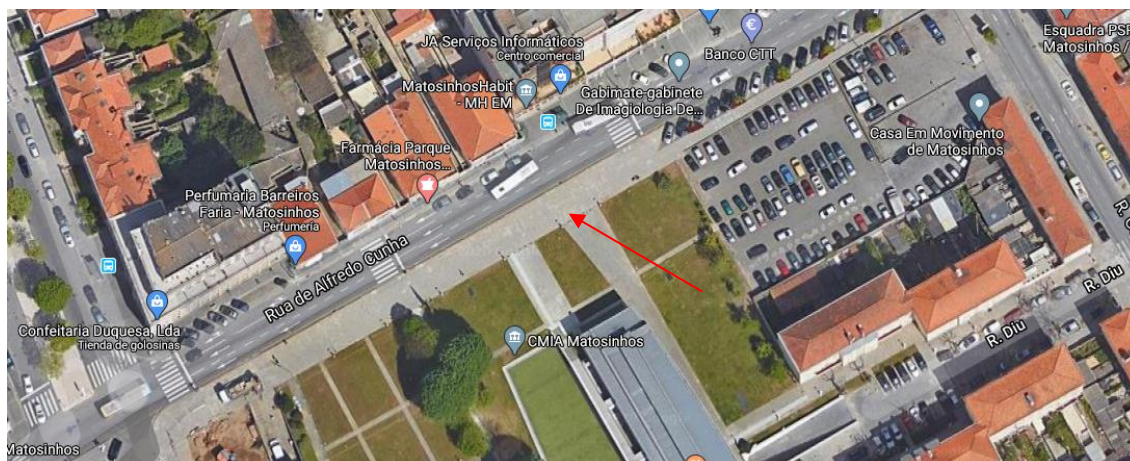


Figura 43 - Localização de projeto piloto em Matosinhos- Google Maps



Figura 44 - Local de instalação do projeto piloto em Matosinhos, no sentido do trânsito, depois da primeira passadeira



Figura 45 - Local de instalação do projeto piloto em Matosinhos, no sentido oposto ao trânsito, depois da segunda passadeira

Segundo o Regulamento de Sinalização do Trânsito, as marcas rodoviárias existentes no local são as seguintes: marcas transversais (passagem para peões- M11, com uma linha de paragem- M8), marcas longitudinais (linha descontínua de aviso- M4), marcas de estacionamento e paragem (linha contínua junto ao limite da faixa de rodagem- M12) e três setas de seleção (M15) como marcas orientadoras de sentidos de trânsito em cada via. No que se refere ao sistema de drenagem das águas pluviais existente, encontram-se as tampas de esgoto de diâmetro igual a 1,0 m e as valetas, de aproximadamente 0,35 m de largura em cada lado da faixa de rodagem, onde se localizam os sumidouros de 0,90 m de comprimento e 1,0 m de profundidade (Figura 46).

Uma vez que a largura total da faixa de rodagem é igual a 9 m (3 m por cada via), a inclinação transversal da rua foi considerada com um valor teórico de 3,5%, mas, após medições no terreno, verificou-se que esta tem um lado mais abatido do que o outro (o lado da via mais a norte está ligeiramente mais profundo do que o lado oposto). Sabendo que a zona onde os protótipos serão implementados se encontra numa reta (no seu traçado em planta) e de forma a simplificar os cálculos, assumiu-se que, no perfil longitudinal, encontra-se em trainel com uma inclinação de, aproximadamente, 5,8% (Figura 47). Também, nos perfis longitudinais dos diferentes cenários, são representadas as profundidades em que o sistema de drenagem atinge o bordo do(s) sumidouro(s), a uma dada inclinação das tubagens.

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar  
Pavnext – Technological Pavements, Lda.

Figura 46 - Descrição do local e dos elementos existentes

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar  
Pavnext – Technological Pavements, Lda.

Figura 47 - Perfis longitudinal e transversal do local

De seguida, irão ser apresentadas as várias propostas de implementação do projeto piloto, assim como os perfis longitudinais e transversais para cada cenário, sendo este último dividido em "Cenário Base" e "Cenário com duas vias". O Cenário com duas vias é ainda subdividido no Cenário 1 (com um módulo de 2,0x3,0 m por via) e o Cenário 2 (com dois módulos de 1,6x3,0 m por via). Neste caso, a versão da peça de suporte a ser implementada corresponde à Versão 1 apresentada no capítulo anterior, quer dizer, a caixa de betão armado, sendo que foram propostas duas variantes em função da quantidade de células

de cada módulo. O Cenário 1 representa a implementação do módulo de 2,0x3,0 m, quer dizer que cada módulo dispõe de cinco filas de células geradoras de energia. O caso do Cenário 2 caracteriza-se pela implementação de módulos com quatro filas de células geradores de energia, criando assim módulos com dimensões iguais a 1,6x3,0 m.

É importante salientar que a representação gráfica dos cenários foi baseada no Projeto de Implementação descrito no capítulo anterior. Isto quer dizer que o sistema modular e os elementos complementares dele estão caracterizados pelas mesmas figuras representativas da Tabela 8. Ao contrário do capítulo anterior, a proposta feita à Câmara do painel informativo que acompanha a sinalização vertical, que indica a entrada ao sistema *NEXT-Road*, corresponde à Figura 48. Foram propostos dois tipos de texto: o primeiro assinala a zona piloto e o segundo fornece um comunicado sobre a redução da velocidade (como o descrito no capítulo anterior).

Desenho técnico confidencial, para mais informações  
contactar *Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Figura 48 - Painéis informativos propostos à CMM, que acompanha o sinal vertical da *Pavnext*

#### 5.2.1. CENÁRIO BASE: TRÊS VIAS COM MÓDULOS DE 2,0 METROS DE COMPRIMENTO (UM MÓDULO POR VIA)

O Cenário Base expõe a implementação do sistema nas três vias que constituem a estrada (Figura 49). Para este caso, propõe-se a instalação de um módulo por via, tendo cada módulo a dimensão de 2,0x3,0 m. A Figura 50 é a representação dos perfis longitudinal e transversal de acordo com o cenário em questão, sendo que neste caso a inclinação da tubagem enterrada é igual a 2,0%.

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar  
*Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Figura 49 - Cenário Base: três vias com módulo de 2,0x3,0 m por via

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar *Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Figura 50 - Perfis longitudinal e transversal do Cenário Base

#### 5.2.2. CENÁRIOS COM DUAS VIAS

A partir do Cenário Base e tendo em conta a envolvente do local, em que a faixa da direita está maioritariamente ocupada por veículos estacionados (indevidamente), apresenta-se uma proposta de implementação alternativa do sistema, em que a instalação é realizada nas duas vias da esquerda (no sentido do tráfego). Para tal, serão apresentadas duas propostas com esta abordagem, sendo que a diferença entre estas abordagens está relacionada com o tamanho dos módulos. É importante salientar que nesta opção consideramos a implementação de duas LRV na terceira via (mais à direita), de forma a não perder o objetivo do projeto piloto, contribuir para a segurança rodoviária do local.

##### 5.2.2.1. Cenário 1: módulos de 2,0x3,0 metros (um módulo por via)

Neste cenário, é aplicado um módulo com 2,0x3,0 m em cada via, tendo cada um destes módulos 10 unidades de geração de energia (Figura 51). Como indicado no ponto anterior, são aplicadas duas LRV na via da direita, ao lado dos módulos da *Pavnext*. Os perfis longitudinal e transversal estão representados na Figura 52, em que a inclinação da tubagem corresponde a 2,0%.

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar *Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Figura 51 - Cenário 1: duas vias com módulos de 2,0x3,0 m

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar *Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Figura 52 - Perfis longitudinal e transversal do Cenário 1

#### 5.2.2.2. Cenário 2: módulos de 1,6x3,0 metros (dois módulos por via)

Neste cenário, são aplicados dois módulos de 1,6x3,0 m por via, de forma consecutiva, tendo cada um destes módulos 8 unidades de geração de energia (Figura 53). Assim, em cada via, são aplicados 16 módulos de geração de energia, 60% mais do que no cenário anterior. Como indicado no ponto anterior, são aplicadas duas LRV na via da direita, ao lado dos módulos da *Pavnext*. Na Figura 54 encontram-se os perfis longitudinal e transversal para este cenário, sendo este caso o mais gravoso no que se refere à inclinação da tubagem, com um valor igual a 1,25%, de modo a atingir uma profundidade crítica igual a 1,0 m (mesma profundidade do sumidouro).

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar *Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Figura 53 - Cenário 2: duas vias com módulos de 1,6x3,0 m (dois módulos por via)

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar *Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Figura 54 - Perfis longitudinal e transversal do Cenário 2

### 5.3. PROJETOS TÉCNICOS AUXILIARES

Antes de apresentar os projetos técnicos necessários para a implementação do sistema, é importante descrever alguns aspetos a ter em conta na execução da obra. As medidas apresentadas no Projeto de instalação civil de cada cenário (comprimentos dos cortes necessários em planta) devem ser respeitadas, admitindo-se as seguintes tolerâncias para cada elemento:

- Sistema de drenagem:  $\pm 0,02$  m por lado;
- Armário elétrico:  $\pm 0,01$  m por lado;
- Sinais verticais luminosos:  $\pm 0,02$  m de diâmetro;
- Módulos:  $+ 0,01$  m na largura;
- Marcadores rodoviários na passagem de peões:  $\pm 0,010$  m na largura;
- Sensor de peões:  $\pm 0,010$  m por lado.

Por outro lado, as profundidades de escavação para cada elemento apresentadas no mesmo projeto, estão divididas por cores da seguinte maneira: as verdes sinalizam as mais superficiais sendo que é escavado uma parte das camadas betuminosas (entre 0,01 a 0,08 m), as amarelas representam o nível intermédio em que são retiradas as camadas betuminosas na sua totalidade e uma pequena parte dos agregados que conformam a base do pavimento (profundidades de entre 0,10 a 0,80 m) e, finalmente, as vermelhas representam as escavações mais acentuadas com profundidades de até 1,0 m. Portanto, apresentam-se as profundidades de escavação para cada elemento:

- Sensor de peões: 0,04 m (verde);
- Marcadores rodoviários: 0,09 m (verde);
- Módulos: 0,35 m (amarelo);
- Sinais verticais luminosos: 0,50 m (amarelo);
- Armário elétrico: 0,80 m (vermelho);
- Sistema de drenagem: 1,00 m (vermelho).

Para além disso, os cortes destinados à colocação do sistema de cablagem têm uma profundidade de 0,15 m e uma largura de 0,01 m aproximadamente, de forma a garantir uma adequada proteção desta componente.

Os Projetos auxiliares são apresentados para o Cenário Base e para os Cenários com duas vias, sendo que este último engloba o Cenário 1 e o Cenário 2 em simultâneo.

### 5.3.1. CENÁRIO BASE: TRÊS VIAS COM MÓDULOS DE 2,0 METROS DE COMPRIMENTO (UM MÓDULO POR VIA)

#### 5.3.1.1. Projeto de instalação civil

De seguida, é apresentado, na Figura 55, o projeto de instalação civil para o caso do Cenário Base, com as respetivas medidas dos cortes e as diferentes cores que representam os vários graus de profundidades da escavação.

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar  
*Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Figura 55 - Projeto de instalação civil do Cenário Base

### 5.3.1.2. Projeto de instalação elétrica

Na Figura 56 encontra-se o projeto de instalação elétrica do Cenário Base com a representação das diferentes fases que o sistema possui. A canalização elétrica embebida no pavimento está dividida em quatro partes: uma que liga o gerador de energia com o quadro elétrico (conduz a energia gerada), outra que liga o quadro elétrico com os equipamentos que se encontram antes de dar entrada no sistema (marcadores isolados e sinais verticais luminosos propostos pela *Pavnext*) e mais uma com ligação aos que se encontram depois do sistema (marcadores em série e sinais verticais luminosos da passagem para peões) e, finalmente, uma parte que liga os sensores de peões com os marcadores em série.

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar *Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Figura 56 - Projeto de instalação elétrica do Cenário Base

#### 5.3.1.3. Projeto de sinalização

O projeto de sinalização para o Cenário Base está representado na Figura 57, onde se especificam as distâncias e as medidas das marcas rodoviárias propostas (sendo que neste caso abarca toda a largura da faixa de rodagem) e a localização dos restantes elementos, nomeadamente dos marcadores (isolados e em série) e dos sinais verticais luminosos (da passagem para peões e do proposto pela *Pavnext*).

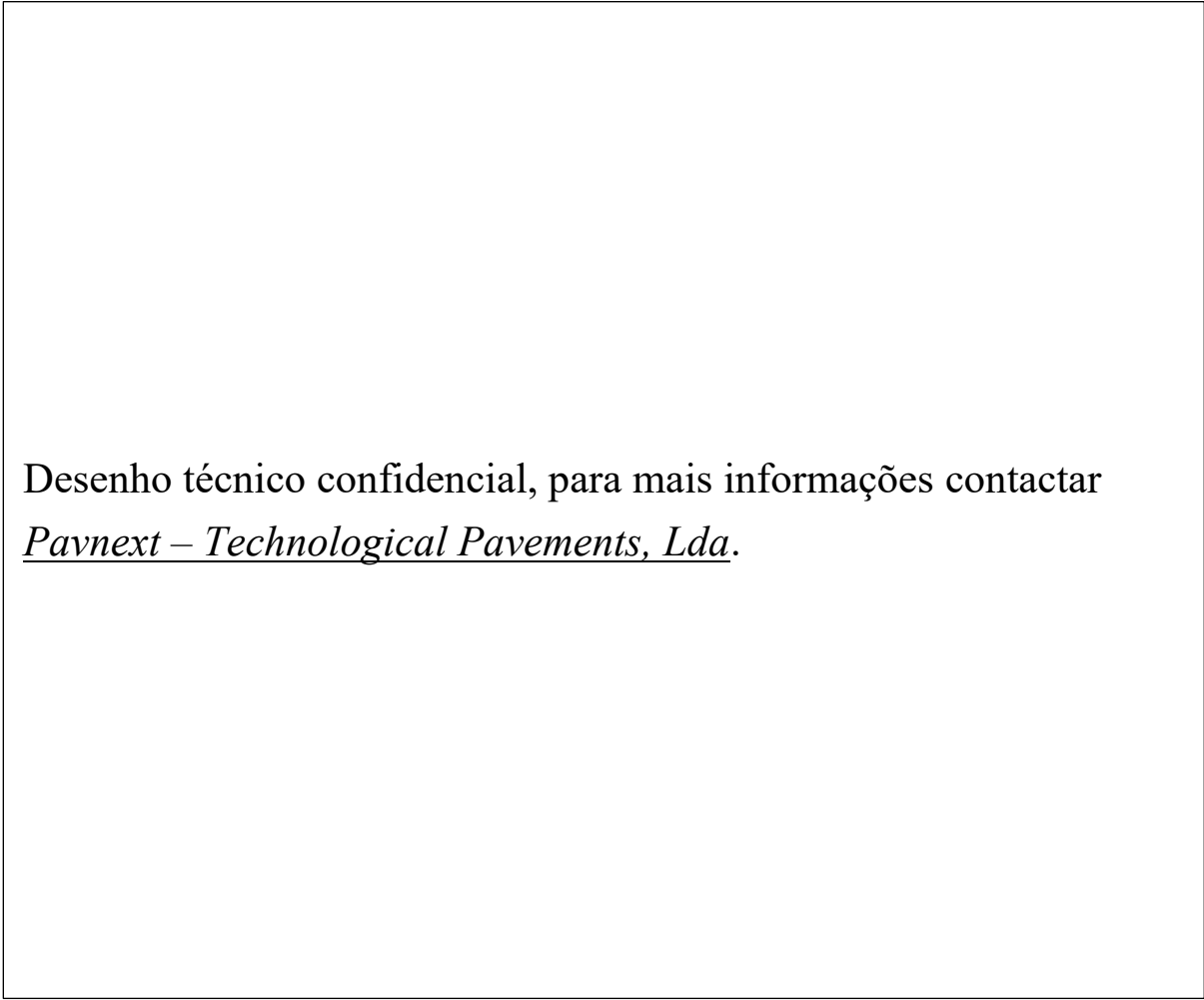
Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar  
*Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Figura 57 - Projeto de sinalização do Cenário Base

5.3.2. CENÁRIOS COM DUAS VIAS: CENÁRIO 1 (MÓDULOS DE 2,0x3,0 METROS- UM MÓDULO POR VIA) E CENÁRIO 2 (MÓDULOS DE 1,6x3,0 METROS- DOIS MÓDULOS POR VIA)

5.3.2.1. Projeto de instalação civil

Apresenta-se, de seguida, na Figura 58, o projeto de instalação civil para os casos dos Cenários com duas vias, com as respetivas medidas dos cortes e as diferentes cores que representam os vários graus de profundidades da escavação. Neste caso, a área da escavação destinada à implementação do módulo depende de X, sendo que para o Cenário 1 é igual a 2,0 m e no Cenário 2 é igual a 3,2 m.



Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar *Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Figura 58 - Projeto de instalação civil dos Cenários com duas vias

#### 5.3.2.2. Projeto de instalação elétrica

Na Figura 59 encontra-se o projeto de instalação elétrica para os Cenários com duas vias, onde se representa as diferentes fases que o sistema possui. Como no caso anterior, a canalização elétrica embecida no pavimento está dividida em quatro partes: uma que liga o gerador de energia com o quadro elétrico (e que conduz a energia gerada), outra que liga o quadro elétrico com os equipamentos que se encontram antes de dar entrada no sistema (marcadores isolados e sinais verticais luminosos propostos pela *Pavnex*) e mais uma com ligação aos que se encontram depois do sistema (marcadores em série e sinais verticais luminosos da passagem para peões) e, finalmente, uma parte que liga os sensores de peões com os marcadores em série.

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar  
*Pavnex – Technological Pavements, Lda.*

Figura 59 - Projeto de instalação elétrica dos Cenários com duas vias

### 5.3.2.3. Projeto de sinalização

O projeto de sinalização para os Cenários com duas vias está representado na Figura 60, onde se especificam as distâncias e as medidas das marcas rodoviárias propostas (sendo que neste caso abarca as duas vias em que os módulos estão implementados) e a localização dos restantes elementos, nomeadamente dos marcadores (isolados e em série) e dos sinais verticais luminosos (da passagem para peões e do proposto pela *Pavnext*).

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar *Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Figura 60 - Projeto de sinalização dos Cenários com duas vias

## 5.4. VIABILIDADE TÉCNICA

Após a análise do projeto por parte da CMM, verificou-se a viabilidade técnica do projeto, sendo que se concluiu ser necessária a correção de alguns pormenores em relação à localização do quadro elétrico e às propostas feitas da sinalização rodoviária (sinal vertical e marcação rodoviária que indicam a entrada no sistema).

Considerando os cenários apresentados, irá ser implementado o Cenário 2: duas vias com módulos de 1,6x3,0 m, quer dizer, dois módulos por via, obtendo-se um total de quatro módulos com oito geradores de energia em cada módulo (4 geradores por lado). Como foi referido anteriormente, a terceira via irá ser complementada com duas lombas com 4,0 m de distância entre elas.

A localização do quadro elétrico passa a ser do lado do passeio de 2,0 m de largura, devido à possibilidade de implementação de equipamentos que possam aproveitar a energia gerada pelo sistema (p. ex. carregamento de bicicletas elétricas) de modo a aproveitar o espaço livre nesse lado do passeio.

No que concerne às propostas de sinalização rodoviária, nomeadamente o símbolo do sinal vertical que indica a entrada ao sistema, terá de se submeter ao IMT I.P. Caso a verificação não seja completada antes de dar início às obras, é possível a colocação dos painéis informativos propostos anteriormente, de modo a indicar a “Zona Piloto” e o “Pavimento Redutor de Velocidade” (Figura 46).

Outro ponto a tratar é a marcação destinada aos veículos de duas rodas. A sinalização horizontal do corredor central sofreu algumas mudanças, o símbolo do motociclo e a seta a indicar a direção poderão ser de outra cor (p. ex. verde) (Figura 61), sinalizada com duas linhas contínuas brancas de espessura igual a 10,0 cm cada uma, como indica a Figura 62. De forma a cumprir com as medidas em planta apresentadas anteriormente, o comprimento da marca irá passar a ser igual a 14,0 m (em vez de 15,0 m como indica a proposta inicial). Foi também adicionado um símbolo no início da marca, sendo que os símbolos passam a estar a cada 2,0 m de distância. Para completar a marcação de xadrez, foi adicionado mais um quadrado no centro. É de salientar que, sendo os símbolos de dimensões não comuns, será necessária a elaboração de um molde com as medidas exatas dos ditos símbolos.

Desenho técnico confidencial, para  
mais informações contactar Pavnext –  
Technological Pavements, Lda.

Figura 61 - Pormenor da nova proposta da marcação do corredor central destinada aos motociclos

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar  
Pavnext – Technological Pavements, Lda.

Figura 62 - Figura representativa da nova proposta das marcas rodoviárias

Por outro lado, a partir das correções feitas ao projeto, foi possível contabilizar aproximadamente a quantidade de cabo necessário para a implementação dos dispositivos elétricos. Os cabos podem ser divididos em cabo de potência, que liga os marcadores rodoviários e os módulos com o quadro elétrico, e em cabos de dados, que liga os módulos geradores de energia com o quadro elétrico. Desse modo, estimou-se um total de 175,0 m de cabo de potência e 28,0 m de cabo de dados.

Tendo em conta isto, a implementação do projeto piloto está representada na Figura 63, em que os perfis longitudinal e transversal não se alteram, segundo a proposta indicada na Figura 54 do Cenário 2.

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar  
*Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Figura 63 - Representação final da implementação do projeto piloto verificado e aprovado pela CMM

De seguida, serão apresentados os projetos auxiliares finais a serem utilizados na realização da obra, nomeadamente, o projeto de instalação civil (Figura 64), o projeto de instalação elétrica (Figura 65) e o projeto de sinalização (Figura 66).

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar  
*Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Figura 64 - Projeto de instalação civil final do projeto piloto

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar *Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Figura 65 - Projeto de instalação elétrica final do projeto piloto

Desenho técnico confidencial, para mais informações contactar *Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

Figura 66 - Projeto de sinalização final do projeto piloto

Os equipamentos e recursos necessários para a realização das obras foi outro ponto importante que tratamos. A Câmara irá fornecer os equipamentos precisos nos passos iniciais e finais da obra com a respetiva mão de obra necessária em cada fase. Isto é, na primeira fase irão fornecer a maquinaria necessária para a marcação e limpeza do local a intervir e a máquina com discos de cortes para a posterior escavação, junto com a sinalização de trânsito temporária, e, na fase final, irão oferecer as tintas para a realização das marcas rodoviárias. Por outro lado, será fornecida a licença de ocupação da via pública junto com o apoio dos elementos de segurança, nomeadamente da Divisão de Trânsito da polícia. Além disso, a Câmara porá à disposição o ramal de ligação, indispensável para a ligação com o sistema elétrico. Os equipamentos necessários para a realização dos restantes passos do processo de instalação deverão ser alugados, sendo necessário contratar uma empreitada de forma a completar o processo de instalação.

Tendo isto em consideração, podemos verificar que os colaboradores da CMM estarão presentes no início das obras, a seguir serão conduzidas pela empreitada a contratar e, no final, voltarão os funcionários da Câmara. Devido ao limite existente nos horários dos colaboradores da Câmara (trabalham exclusivamente de manhã), prevê-se que a marcação da sinalização horizontal (tinta) seja feita no dia a seguir, sendo possível a realização dos restantes passos no dia anterior. Apresenta-se,

então, a Tabela 11 com a sequência das operações de instalação do sistema, o tempo estimado de duração de cada atividade e a respetiva entidade responsável, de modo a sintetizar o plano de execução.

Os trabalhos serão realizados nas duas vias à esquerda (no sentido de circulação), de modo a não interromper a totalidade do trânsito, especialmente do transporte público. Por isso, os cortes localizados na via restante, onde o trânsito irá permanecer o resto do(s) dia(s), serão feitos em primeiro lugar, para assim, não ter de fechar a circulação do trânsito completamente.

Tabela 11 - Síntese do plano de execução da instalação do teste piloto em Matosinhos

Tabela confidencial, para mais informações contactar *Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

# 6

## CONCLUSÕES

### 6.1. CONCLUSÕES FINAIS

Os avanços tecnológicos e o aumento do consumo energético começam a disputar espaço em inúmeras iniciativas em prol da sustentabilidade e renovação energéticas. Por isso, nasce a necessidade de comprovar a importância do papel da construção civil no desenvolvimento das cidades inteligentes.

Para além de incentivar o desenvolvimento das *smart cities*, o sistema modular de *Pavement Energy Harvesting* (PEH), criado pela *Pavnext*, é uma proposta que pode ser considerada como uma medida de acalmia de tráfego, devido à sua relação com a segurança rodoviária. Dessa forma, esta solução propõe o abrandamento da velocidade dos veículos, sem qualquer interferência por parte do condutor, e o aproveitamento da energia elétrica gerada através da energia mecânica dos veículos. Por isso, sugere-se que a implementação do sistema seja feita em conjunto com outros equipamentos que estabeleçam uma relação entre o sistema e a envolvente, nomeadamente a sinalização de trânsito e restantes complementos elétricos.

A compilação efetuada sobre outros projetos e protótipos com os mesmos propósitos que o sistema em estudo revelou serem ainda escassas as informações e os trabalhos de investigação que avaliem de que forma estes sistemas são implementados nos pavimentos rodoviários existentes. Neste sentido, a presente dissertação teve como objetivos principais o desenvolvimento e a análise de um método de instalação nos pavimentos rodoviários do sistema PEH da *Pavnext*, tendo em consideração não só o sistema modular em si, mas também os acessórios que complementam o seu funcionamento.

Uma das principais preocupações no desenvolvimento desta proposta inovadora é, certamente, a verificação do cumprimento das normas existentes, sendo essencial a investigação e a análise das normas que poderiam ser aplicadas ao sistema. Embora a maior parte das normas não tenham acesso *on-line*, fez-se um enquadramento geral sobre as suas possíveis utilizações, de forma a poder normalizar a implementação deste tipo de tecnologias em pavimentos, quer nacional quer internacionalmente.

Apesar dos potenciais benefícios deste sistema, existe ainda a necessidade da criação de um Projeto de Implementação, de modo a simplificar o processo de instalação. Foi, então, realizado o dito projeto, desde uma perspetiva geral, tendo em consideração os estudos desenvolvidos no que respeita à peça de suporte dos módulos, o sistema de drenagem, a ligação módulo *Pavnext*-pavimento rodoviário e o projeto de instalação dos acessórios do sistema. Além disso, foi desenvolvido de uma forma detalhada o processo de instalação do sistema, passo a passo, assim como foram esquematizados os documentos de comunicação a serem apresentados aos responsáveis da obra. A partir daí, foram sintetizados os recursos e equipamentos necessários para a concessão da obra.

Apoiado no Projeto de Implementação, foi realizado o projeto do teste piloto a ser analisado e validado pela Câmara Municipal de Matosinhos (CMM) para a instalação do sistema num ambiente relevante. Foram apresentados vários cenários, sendo que a proposta a ser implementada é a apresentada no Cenário 2 (dois módulos de 1,6x3,0 metros por via), com as células geradoras de energia embebidas na peça de suporte, correspondente à caixa de betão armado (versão 2). Através da apresentação do projeto do teste piloto, anexo a esta dissertação, foi possível constatar a viabilidade técnica dos projetos auxiliares no que respeita à instalação civil do sistema e dos elementos complementares, à instalação elétrica e à sinalização de trânsito.

Embora seja necessário a validação do símbolo do sinal vertical proposto, que indica a entrada no sistema, pelo Instituto da Mobilidade e dos Transportes I.P. (IMT I.P.), a CMM irá apoiar a implementação do sistema através do fornecimento da licença de ocupação da via pública em conjunto com o apoio da polícia no dia das obras, e com alguns dos materiais e equipamentos necessários para o mesmo.

Dito isto, pode-se concluir que o Projeto de Implementação do sistema PEH num ambiente relevante é completamente viável ao nível da Engenharia Civil, vindo a ser um contributo notável na trajetória deste projeto de investigação.

## 6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O presente estudo de investigação constitui mais uma etapa num extenso projeto de investigação, deixando em aberto assuntos e estudos que devem vir a ser tratados e realizados futuramente.

Na realização desta dissertação e após as observações realizadas pela CMM, verificou-se a necessidade de submeter ao IMT I.P. a proposta do novo sinal de trânsito, nomeadamente do símbolo que indica a entrada no sistema PEH para a sinalização vertical luminosa antes de dar entrada no sistema e do painel informativo que o acompanha. Embora não seja determinante, é importante regularizar esta situação antes de avançar com a implementação do sistema. Deve-se, ainda, considerar a realização de um molde especial para as marcas destinadas aos motociclos, sendo que as dimensões dos símbolos a utilizar (seta e motociclo alongado) não são as tradicionais.

Uma vez desenvolvido o Projeto de Instalação para a implementação do sistema num ambiente real e após a sua validação pelas entidades competentes, a execução da obra é o ponto mais importante a tratar. A implementação do sistema *NEXT-Road* permitirá fazer avançar o projeto inovador a um nível TRL 7, de forma a demonstrar o desempenho do protótipo do sistema num ambiente espacial.

Por outro lado, sendo que um dos objetivos da empresa é a comercialização do produto, sugere-se a realização de uma Compilação Técnica do sistema, onde se apresente todas as informações técnicas essenciais do produto final, de forma a desenvolver um método de manutenção do sistema e dos elementos complementares.

É também pertinente a criação de uma proposta de norma para os sistemas PEH, para assim incentivar o desenvolvimento das novas tecnologias no setor da Engenharia Civil e a evolução das cidades do ponto de vista da sustentabilidade ambiental e do consumo inteligente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, B. (2019). *Relatório Técnico: Estudo na área de Engenharia Civil*. Documento não publicado feito na Pavnext. Acesso em Abril de 2020.
- ANSR, (2007). *Nota Técnica: Instalação e Sinalização de Lombas Redutoras de Velocidade*. Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, Núcleo de Fiscalização e Trânsito- Unidade de Prevenção Rodoviária, 1-21, Barcarena.
- Branco, F., Pereira, P., Santos, L. (2008). *Pavimentos Rodoviários*. Edições Almedina. SA., Coimbra.
- Carvalho, J. (2019). *Estudo do Potencial Impacto de um Sistema de Pavement Energy Harvesting na Segurança Rodoviária*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Cravo, L. (2014). *Geração de Energia nos Pavimentos Rodoviários*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra.
- Declaração de Retificação n.º 60-A/2019. *D.R. I Série*, 245, 20/12/19, 2-175.
- Dos Santos, D. (2016). *Análise da Evolução da Fissuração em Pavimentos Rodoviários Flexíveis*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Duarte, F. (2017). *Pavement Energy Harvesting System to Convert Vehicles Kinetic Energy into Electricity*. Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra.
- Duarte, F., Ferreira, A., Fael, P. (2018). *Road Pavement Energy-Harvesting Device to Convert Vehicles Mechanical Energy into Electrical Energy*. Journal of Energy Engineering, 18 de Fevereiro de 2018, 144(2): 04018003, American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Edeva, Website (<https://www.edeva.se/en/>). Acesso em Março de 2020.
- Electreon, Website (<https://www.electreon.com/>). Acesso em Março de 2020.
- Energy Intelligence, Website (<http://www.energyintel.us/#/>). Acesso em Março de 2020.
- EP, S.A. (2014a). *Caderno de Encargos Tipo Obra: Pavimentação. Características dos materiais*. Estradas de Portugal, S.A. (atual IP, S.A.), volume V, 1-211, Almada.
- EP, S.A. (2014b). *Caderno de Encargos Tipo Obra: Pavimentação. Métodos Construtivos*. Estradas de Portugal, S.A. (atual IP, S.A.), volume V, 1-125, Almada.
- Ferreira, A., Duarte, F. (2015). *Energy Harvesting on Road Pavements*. Third International Conference on Advances In Civil, Structural and Environmental Engineering, 2015, 126-130, Institute of Research Engineers and Doctors, USA.
- Harb, A., (2011). *Energy Harvesting: State-of-the-art*. Renewable Energy, 2011, 2641-2654, Department of Electrical Engineering, UAE University, 17555 Al Ain, United Arab Emirates.
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Website (<https://www.ipma.pt/pt/index.html>). Acesso em Maio de 2020.
- Integrated Roadways, Website (<http://integratedroadways.com/>). Acesso em Março de 2020.
- Inteligencia Vial, Website (<http://inteligenciavial.mx/>). Acesso em Março de 2020.
- Morais, J., Pereira, J. (2007). *Guia Técnico das Instalações Elétricas (2ª edição) De acordo com as novas Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão*. CERTIEL Associação Certificadora de Instalações Elétricas.

- Movivo, Website. (<https://movivo.es/>). Acesso em Março de 2020.
- Pavegen, Website (<https://pavegen.com/>). Acesso em Março de 2020.
- Rocha, B. (2008). *Metodologia de Gestão de Operações de Reabilitação de Edifícios Recentes*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Santos, V. (2014). *Aplicação de Sistemas de Geração de Energia nos Pavimentos Rodoviários*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra.
- Sauser, B., Verma, D., Ramirez-Marquez, J., Gove, R. (2006). *From TRL to SRL: The Concept of Systems Readiness Levels*. Conference on Systems Engineering Research, 7-8 de abril de 2006, Los Angeles, CA, 1-10, Stevens Institute of Technology, Castle Point on Hudson Hoboken, NJ.
- Sika, Website (<https://prt.sika.com/pt/solucoes-para-construcao/ref-colagem-estrutural/grout-cimenticio/sika-fastfix-138tp.html#documents>). Acesso em Junho de 2020.
- SmartBumps, Website. (<http://smartbumps.com/>). Acesso em Março de 2020.
- Smartroad Gotland, Website. (<https://www.smartroadgotland.com/>). Acesso em Março de 2020.
- SolaRoad, Website (<https://www.solaroad.nl/>). Acesso em Março de 2020.
- Solar Roadways, Website (<https://solarroadways.com/>). Acesso em Março de 2020.
- Solmove, Website (<https://www.solmove.com/en/>). Acesso em Março de 2020.
- Total Technical Solutions, Website (<https://www.ttsolutions.nl/flex-drempel/>). Acesso em Março de 2020.
- Underground Power, Website (<http://www.upgen.it/en/>). Acesso em Março de 2020.
- United Nations, Website (<https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>). Acesso em Julho de 2020.
- Wattway, Website (<https://www.wattwaybycolas.com/en/homepage.html>). Acesso em Março de 2020.

## BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

CEN (2019a) NP EN 1401- 1 - *Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage; Unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U); Part 1: Specifications for pipes, fittings and the systems*. Comité Européu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2019b) NP EN 13036- 5 - *Road and airfield surface characteristics; Test methods; Part 5: Determination of longitudinal unevenness indices*. Comité Européu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2019c) NP EN 13108- 31 - *Bituminous mixtures; Material specifications; Part 31: Asphalt Concrete with Bituminous Emulsion*. Comité Européu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2019d) NP EN 13791- *Avaliação da resistência à compressão in-situ do betão em estruturas e elementos pré-fabricados*. Comité Européu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2018) CEN/TR 16958- *Road marking materials; Conditions for removing/masking road markings*. Comité Européu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2016a) CEN/TS 15901- 14 - *Road and airfield surface characteristics; Part 14: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface using a device with longitudinal controlled slip (LFCN): ViaFriction (Road Analyser and Recorder of ViaTech AS)*. Comité Européu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2016b) NP EN 13108- 1 - *Bituminous mixtures; Material specifications; Part 1: Asphalt Concrete*. Comité Européu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2016c) NP EN 13108- 2 - *Bituminous mixtures; Material specifications; Part 2: Asphalt Concrete for Very Thin Layers (BBTM)*. Comité Européu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2016d) NP EN 13108- 3 - *Bituminous mixtures; Material specifications; Part 3: Soft Asphalt*. Comité Européu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2016e) NP EN 13108- 4 - *Bituminous mixtures; Material specifications; Part 4: Hot Rolled Asphalt*. Comité Européu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2016f) NP EN 13108- 7 - *Bituminous mixtures; Material specifications; Part 7: Porous Asphalt*. Comité Européu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2016g) NP EN 13108- 8 - *Bituminous mixtures; Material specifications; Part 8: Reclaimed asphalt*. Comité Européu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2016h) NP EN 13108- 9 - *Bituminous mixtures; Material specifications; Part 9: Asphalt for Ultra-Thin Layer (AUTL)*. Comité Européu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2016i) NP EN 13108- 20 - *Bituminous mixtures; Material specifications; Part 20: Type Testing*. Comité Européu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2016j) NP EN 13108- 21 - *Bituminous mixtures; Material specifications; Part 21: Factory Production Control*. Comité Européu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2016k) NP EN 13598- 2 - *Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage; Unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE); Part 2: Specifications for manholes and inspection chambers*. Comité Européu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2015a) NP EN 13108- 5 - *Bituminous mixtures; Material specifications; Part 5: Stone Mastic Asphalt*. Comité Européu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2015b) NP EN 13108- 6 - *Bituminous mixtures; Material specifications; Part 6: Mastic Asphalt*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2014a) CEN/TS 15901- 15 - *Road and airfield surface characteristics; Part 15: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface using a device with longitudinal controlled slip (LFCI): The IMAG*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2014b) EN 1790- *Materiais para marcação rodoviária; Marcas rodoviárias pré-fabricadas*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2014c) NP EN 12697- 43 - *Misturas betuminosas; Métodos de ensaio para misturas asfálticas; Parte 43: Resistência ao combustível*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2014d) NP EN 12697- 49 - *Misturas betuminosas; Métodos de ensaio para misturas asfálticas; Parte 49: Determinação de atrito após o polimento*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2013a) EN 1423- *Road marking materials; Drop on materials; Glass beads, antiskid aggregates and mixtures of the two*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2013b) EN 13877- 1 - *Concrete pavements; Part 1: Materials*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2013c) EN 13877- 2 - *Concrete pavements; Part 2: Functional requirements for concrete Pavements*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2012) CEN/TS 13598- 3 - *Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage; Unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE); Part 3: Guidance for assessment of conformity*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2011a) CEN/TS 15901- 11 - *Road and airfield surface characteristics; Part 11: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface using a device with BIGINTitudinal block measurement (LFCSR): the SRM*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2011b) CEN/TS 15901- 13 - *Road and airfield surface characteristics; Part 13: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface by measurement of a sideways force coefficient (SFCO): the Odoliograph*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2011c) prCEN/TS 15901- 12 - *Road and airfield surface characteristics; Part 12: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface using a device with BIGINTitudinal controlled slip: the BV 11 and Saab friction tester (SFT)*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2011d) EN 13036- 4 - *Road and airfield surface characteristics; Test methods; Part 4: Method for measurement of slip/skid resistance of a surface: The pendulum test*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2011e) EN 13598- 1 - *Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage; Unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE); Part 1: Specifications for ancillary fittings including shallow inspection chambers*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2010) CEN/TS 13036- 2 - *Road and airfield surface characteristics; Test methods; Part 2: Assessment of the skid resistance of a road pavement surface by the use of dynamic measuring systems*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2009a) CEN/TS 15901- 1 - *Road and airfield surface characteristics; Part 1: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface using a device with BIGINTitudinal fixed slip ratio (LFCS): RoadSTAR*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2009b) CEN/TS 15901- 2 - *Road and airfield surface characteristics; Part 2: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface using a device with BIGINTitudinal controlled slip (LFCRNL): ROAR (Road Analyser and Recorder of Norsemeter)*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2009c) CEN/TS 15901- 4 - *Road and airfield surface characteristics; Part 4: Procedure for determining the skid resistance of pavements using a device with BIGINTitudinal controlled slip (LFCT): Tatra Runway Tester (TRT)*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2009d) CEN/TS 15901- 6 - *Road and airfield surface characteristics; Part 6: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface by measurement of the sideway force coefficient (SFCS): SCRIM(r)*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2009e) CEN/TS 15901- 7 - *Road and airfield surface characteristics; Part 7: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface using a device with BIGINTitudinal fixed slip ratio (LF CG): the GripTester(r)*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2009f) CEN/TS 15901- 8 - *Road and airfield surface characteristics; Part 8: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface by measurement of the sideway-force coefficient (SFCD): SKM*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2009g) CEN/TS 15901- 9 - *Road and airfield surface characteristics; Part 9: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface by measurement of the BIGINTitudinal friction coefficient (LFCD): DWWNL skid resistance trailer*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2009h) prCEN/TS 15901- 3 - *Road and airfield surface characteristics; Part 3: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface using a device with BIGINTitudinal controlled slip (LFCA): The ADHERA*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2009i) prCEN/TS 15901- 5 - *Road and airfield surface characteristics; Part 5: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface using a device with BIGINTitudinal controlled slip (LFCRDK): ROAR (Road Analyser and Recorder of Norsemeter)*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2009j) prCEN/TS 15901- 10 - *Road and airfield surface characteristics; Part 10: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface using a device with BIGINTitudinal block measurement (LFCSK): the Skiddometer BV-8*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2009k) EN 1463- 1 - *Road marking materials; Retroreflecting road studs; Part 1: Initial performance requirements*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2007) EN 12271- *Surface dressing; Requirements*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2006a) CEN/TR 15352- *Bitumen and bituminous binders; Development of performance-related specifications: status report 2005*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2006b) EN 14802- *Plastics piping systems; Thermoplastics shafts or risers for inspection chambers and manholes; Determination of resistance against surface and traffic loading*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2003a) EN 12272- 2 - *Surface dressing; Test methods; Part 2: Visual assessment of defects*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2003b) EN 12272- 3 - *Surface dressing; Test method; Part 3: Determination of binder aggregate adhesivity by the Vialit plate shock test method*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2002) EN 12272- 1 - *Surface dressing; Test methods; Part 1: Rate of spread and accuracy of spread of binder and chippings*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

CEN (2001) EN 12970- *Mastic asphalt for waterproofing; Definitions, requirements and test methods*. Comité Europeu de Normalização (CEN), Bruxelas.

InIR, I.P. (2012a). *Construção e Reabilitação de Pavimentos: Disposições Normativas*. Instituto de Infra-Estrutura Rodoviária I.P (atual IMT, I.P.), Lisboa.

InIR, I.P. (2012b). *Diretivas para a Conceção de Pavimentos: Disposições Normativas*. Instituto de Infra-Estrutura Rodoviária I.P (atual IMT, I.P.), Lisboa.

InIR, I.P. (2012c). *Marcas Rodoviárias: Disposições Normativas*. Instituto de Infra-Estrutura Rodoviária I.P (atual IMT, I.P.), Lisboa.

InIR, I.P. (2012d). *Princípios da Sinalização do Trânsito e Regimes de Circulação: Disposições Normativas*. Instituto de Infra-Estrutura Rodoviária I.P (atual IMT, I.P.), Lisboa.

InIR, I.P. (2012e). *Sinalização Vertical: Disposições Normativas*. Instituto de Infra-Estrutura Rodoviária I.P (atual IMT, I.P.), Lisboa.

IPQ (2019a) NP EN 1504- 10 - *Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão; Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade; Parte 10: Aplicação de produtos e sistemas e controlo da qualidade da obra*. Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2019b) NP EN 12899- 4 - *Sinais de trânsito fixos verticais - Parte 4: Controlo da produção em fábrica*. Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2019c) NP EN 12899- 5 - *Sinais de trânsito fixos verticais - Parte 5: Ensaio de tipo inicial*. Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2018) NP EN 13043- *Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação*. Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2017a) NP EN 1504- 8 - *Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão; Definições, requisitos, controlo da qualidade e AVR; Parte 8: Controlo da qualidade e Avaliação e verificação da regularidade do desempenho (AVR)*. Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2017b) NP EN 12899- 1 - *Sinais de trânsito fixos verticais; Parte 1: Sinais fixos*. Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2015) NP EN 13224- *Produtos prefabricados de betão; Elementos nervurados para pavimentos*. Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2014) NP EN 1504- 5 - *Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão; Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade; Parte 5: Injeção do betão*. Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2012a) NP EN 13036- 6 - *Características superficiais de pavimentos de estradas e de aeroportos; Métodos de ensaio; Parte 6: Medição dos perfis BIGINTitudinal e transversal na gama dos*

*comprimentos de onda da irregularidade e da megatextura.* Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2012b) NP EN 13036- 8 - *Características superficiais de pavimentos de estradas e aeroportos; Métodos de ensaio; Parte 8: Determinação de índices de irregularidade transversal e de outros tipos de defeitos transversais.* Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2011a) NP EN 12591- *Betumes e ligantes betuminosos; Especificações para betumes de pavimentação.* Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2011b) NP EN 13036- 1 - *Características superficiais de pavimentos de estradas e de aeroportos; Métodos de ensaio; Parte 1: Medição da profundidade da macrotextura da superfície do pavimento através da técnica volumétrica da mancha.* Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2011c) NP EN 13036- 3 - *Características superficiais de pavimentos de estradas e de aeroportos; Métodos de ensaio; Parte 3: Medição da drenabilidade horizontal da superfície do pavimento.* Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2011d) NP EN 13036- 7 - *Características superficiais de pavimentos de estradas e de aeroportos; Métodos de ensaio; Parte 7: Medição da irregularidade das camadas do pavimento: ensaio com régua.* Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2011e) NP EN 13242- *Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária.* Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2010) NP EN 13877- 3 - *Pavimentos em betão; Parte 3: Especificações para varões de transferência utilizados nos pavimentos em betão.* Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2009) NP EN 1504- 9 - *Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão; Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade; Parte 9: Princípios gerais para a utilização de produtos e sistemas.* Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2008a) NP EN 1463- 2 - *Materiais para marcação rodoviária; Marcadores retrorrefletores; Parte 2: Especificações para o ensaio de campo.* Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2008b) NP EN 1504- 6 - *Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão; Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade; Parte 6: Ancoragem de armaduras de aço.* Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2008c) NP EN 1504- 7 - *Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão; Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade; Parte 7: Proteção contra a corrosão das armaduras.* Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2008d) NP EN 1871- *Materiais para marcação rodoviária; Propriedades físicas.* Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2006a) NP EN 1504- 1 - *Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão; Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade; Parte 1: Definições.* Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2006b) NP EN 1504- 2 - *Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão; Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade; Parte 2: Sistemas de proteção superficial do betão.* Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2006c) NP EN 1504- 3 - *Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão; Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade; Parte 3: Reparação estrutural e não-estrutural*. Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2006d) NP EN 1504- 4 - *Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão; Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade; Parte 4: Colagem estrutural*. Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

IPQ (2003) NP ENV 1401- 3 - *Sistemas de tubagens em plástico enterrados para drenagem e esgoto sem pressão - Policloreto de vinilo não plastificado (PVC-U) - Parte 3: Guia para a instalação*. Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

ISO (2019) ISO 13473- 1 - *Characterization of pavement texture by use of surface profiles- Part 1: Determination of mean profile depth*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2018) ISO 1920- 13 - *Testing of concrete — Part 13: Properties of fresh self compacting concrete*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2017a) ISO 11819- 2 - *Acoustics- Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise- Part 2: The close-proximity method*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2017b) ISO/TS 11819- 3 - *Acoustics- Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise- Part 3: Reference tyres*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2017c) ISO/TS 16774- 1 - *Test methods for repair materials for water-leakage cracks in underground concrete structures- Part 1: Test method for thermal stability*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2017d) ISO/TS 16774- 5 - *Test methods for repair materials for water-leakage cracks in underground concrete structures- Part 5: Test method for watertightness*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2017e) ISO/TS 16774- 6 - *Test methods for repair materials for water-leakage cracks in underground concrete structures- Part 6: Test method for response to the substrate movement*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2016a) ISO 362- 3 - *Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles- Engineering method- Part 3: Indoor testing M and N categories*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2016b) ISO 8608- *Mechanical vibration- Road surface profiles- Reporting of measured data*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2016c) ISO 16254- *Acoustics- Measurement of sound emitted by road vehicles of category M and N at standstill and low speed operation- Engineering method*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2016d) ISO/TS 16774- 2 - *Test methods for repair materials for water-leakage cracks in underground concrete structures- Part 2: Test method for chemical resistance*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2016e) ISO/TS 16774- 3 - *Test methods for repair materials for water-leakage cracks in underground concrete structures- Part 3: Test method for water (wash out) resistance*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2016f) ISO/TS 16774- 4 - *Test methods for repair materials for water-leakage cracks in underground concrete structures- Part 4: Test method for adhesion on wet concrete surface*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2015) ISO 362- 1 - *Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles- Engineering method- Part 1: M and N categories*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2014a) ISO 9186- 1 - *Graphical symbols- Test methods- Part 1: Method for testing comprehensibility*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2014b) ISO 9186- 3 - *Graphical symbols- Test methods- Part 3: Method for testing symbol referent association*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2013) ISO/PAS 11819- 4 - *Acoustics- Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise- Part 4: SPB method using backing board*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2010) ISO 13472- 2 - *Acoustics- Measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ- Part 2: Spot method for reflective surfaces*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2009a) ISO 362- 2 - *Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles- Engineering method- Part 2: L category*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2009b) ISO 13473- 5 - *Characterization of pavement texture by use of surface profiles — Part 5: Determination of megatexture*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2008a) ISO 9186- 2 - *Graphical symbols- Test methods- Part 2: Method for testing perceptual quality*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2008b) ISO/TS 13473- 4 - *Characterization of pavement texture by use of surface profiles- Part 4: Spectral analysis of surface profiles*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2004) ISO 1920- 7 - *Testing of concrete — Part 7: Non-destructive tests on hardened concrete*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2002a) ISO 8349- *Road vehicles- Measurement of road surface friction*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2002b) ISO 13472- 1 - *Acoustics- Measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ- Part 1: Extended surface method*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2002c) ISO 13473- 2 - *Characterization of pavement texture by use of surface profiles — Part 2: Terminology and basic requirements related to pavement texture profile analysis*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (2002d) ISO 13473- 3 - *Characterization of pavement texture by use of surface profiles — Part 3: Specification and classification of profilometers*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (1999) ISO 14512- *Passenger cars- Straight-ahead braking on surfaces with split coefficient of friction- Open-loop test procedure*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (1997) ISO 11819- 1 - *Acoustics- Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise- Part 1: Statistical Pass-By method*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO (1986) ISO 8002- *Mechanical vibrations- Land vehicles- Method for reporting measured data*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.



## ANEXOS

### ANEXO A- FICHA DE DADOS DO PRODUTO: Sika FastFix-138 TP



## FICHA DE DADOS DO PRODUTO Sika® FastFix-138 TP

ARGAMASSA DE ENDURECIMENTO RÁPIDO PARA SELAGEM E FIXAÇÃO EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

### DESCRIÇÃO DO PRODUTO

Sika® FastFix-138 TP é uma argamassa cimentosa, pre-doseada, monocomponente, para selagem e fixação, à base de cimentos especiais e agregados seleccionados. Após a mistura com água é obtida uma cor escura semelhante à superfície asfáltica.

### UTILIZAÇÕES

- Selagem e fixação de caixas de visita e tampas de saneamento.
- Fixação de luzes de aterragem em aeroportos.
- Reparações em estradas de betão e juntas em estradas.
- Instalação de caixas de telecomunicações.
- Fixação de mobiliário urbano.
- Reparações em que é necessário minimizar o período de interrupção de serviço.

### CARACTERÍSTICAS / VANTAGENS

- Consistência ajustável.
- Propriedades de aplicação muito boas.
- Rápido endurecimento permitindo a abertura rápida ao tráfego (2 horas a +20 °C).
- Excelente resistência a baixas temperaturas.
- Excelente aderência ao betão e ao asfalto.
- Possibilidade de utilização do produto com agregados para grandes enchimentos.
- Isento de cloretos e outros aditivos promotores de corrosão.
- Utilização versátil: "semi seco" para selagem e "úmido" para fixação/enchimento.

### CERTIFICADOS / NORMAS

- Relatório SCETAUROUTE: Resistência ao gelo/degele de acordo com NF P 18-424.
- Relatório de SCETAUROUTE: Ensaio realizado de acordo com XP 18-240.

### DADOS DO PRODUTO

|                           |                                                                                                        |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Base química              | Cimento, agregados seleccionados e aditivos.                                                           |
| Fornecimento              | Sacos de 25 kg.                                                                                        |
| Aspecto / Cor             | Pó, cinza escuro.                                                                                      |
| Tempo de armazenamento    | O produto conserva-se durante 6 meses a partir da data de fabrico, na embalagem original não encetada. |
| Armazenagem e conservação | Armazenar em local seco e ao abrigo da luz solar directa.                                              |
| Massa volúmica            | Aprox. 2,28 kg/l de argamassa fresca.                                                                  |
| Granulometria máxima      | D <sub>max</sub> : 8 mm                                                                                |

Ficha de Dados do Produto  
Sika® FastFix-138 TP  
Outubro 2018, Versão 01.02  
020201030030000038

## DADOS TÉCNICOS

| Resistência à compressão                                                            |                                                           |                                       | (EN 196-1)   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------|
|                                                                                     | Consistência seca* (2,5 l/25 kg)                          | Consistência plástica* (3,01 l/25 kg) |              |
| 2 horas                                                                             | ~20 MPa                                                   | ~14 MPa                               |              |
| 24 horas                                                                            | ~30 MPa                                                   | ~30 MPa                               |              |
| 28 dias                                                                             | ~53 MPa                                                   | ~50 MPa                               |              |
| Com adição de 12,5 kg de agregados 8/20 por saco de produto: Sika® Fast-Fix-138 TP. |                                                           |                                       |              |
|                                                                                     | Consistência seca* (2,85 l/25 kg)                         | Consistência plástica* (3,35 l/25 kg) | (EN 196-1)   |
| 2 horas                                                                             | ~30 MPa                                                   | ~25 MPa                               |              |
| 24 horas                                                                            | ~34 MPa                                                   | ~34 MPa                               |              |
| 28 dias                                                                             | ~50 MPa                                                   | ~50 MPa                               |              |
| * Temperatura ambiente +20 °C                                                       |                                                           |                                       |              |
| Tensão de aderência                                                                 |                                                           |                                       | (NFP 18-858) |
| Betão:                                                                              | > 2 N/mm <sup>2</sup> (ruptura no betão), aos 28 dias     |                                       |              |
| Asfalto:                                                                            | > 1,5 N/mm <sup>2</sup> (ruptura no asfalto), aos 28 dias |                                       |              |

## INFORMAÇÃO SOBRE A APLICAÇÃO

| Proporção da mistura                                                                                                                       |               |                                                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Consistência seca:                                                                                                                         | Cinza escuro: | ~2,5 l de água para 25 kg de pó                                                                    |            |
|                                                                                                                                            | Cinza claro:  | ~3 l de água para 25 kg de pó                                                                      |            |
| Consistência plástica:                                                                                                                     |               |                                                                                                    |            |
| Rendimento                                                                                                                                 |               | 2,30 kg/m <sup>2</sup> e por mm de espessura. 1 saco de 25 kg equivale a 12 l de argamassa fresca. |            |
| Temperatura ambiente                                                                                                                       |               | +5 °C min. / +35 °C máx.                                                                           |            |
| Temperatura da base                                                                                                                        |               | +5 °C min. / +35 °C máx.                                                                           |            |
| Tempo de vida útil da mistura (pot-life)                                                                                                   |               | +5 °C                                                                                              | +20 °C     |
|                                                                                                                                            |               | 30 minutos                                                                                         | 15 minutos |
|                                                                                                                                            |               |                                                                                                    | +30 °C     |
|                                                                                                                                            |               |                                                                                                    | 5 minutos  |
| Produto aplicado pronto para usar                                                                                                          |               | Temperatura da base                                                                                |            |
|                                                                                                                                            |               | Abertura ao tráfego                                                                                |            |
|                                                                                                                                            |               | +5 °C                                                                                              | ~3 horas   |
|                                                                                                                                            |               | +20 °C                                                                                             | ~2 horas   |
|                                                                                                                                            |               | +30 °C                                                                                             | ~1 hora    |
| Os tempos de "abertura ao tráfego" são aproximados e podem ser afectados pela variação das condições ambientais e condições de aplicação.. |               |                                                                                                    |            |

## INSTRUÇÕES DE APLICAÇÃO

### QUAIDADE DA BASE / PREPARAÇÃO

A base deverá estar estruturalmente limpa, isenta de sujidade, partículas soltas, leitâncias superficiais, óleos, gorduras e outros contaminantes.

A base deve ser completamente pré-humedecida, mas não pode ter há água em excesso na superfície antes da aplicação.

### APLICAÇÃO

Sika® FastFix-138 TP pode ser misturado manual ou mecanicamente.

Colocar Sika® FastFix-138 TP com consistência seca,

quando utilizado como selagem em tampas de visita ou em equipamento/mobiliário urbano, etc.

Colocar Sika® FastFix-138 TP com consistência plástica para enchimento e nivelamento de tampas de saneamento ou mobiliário urbano, etc.

Sika® FastFix-138 TP misturado com uma consistência seca pode ser vibrado (se necessário) para auxiliar a sua colocação e compactação.

Nota: A quantidade de água pode variar ligeiramente de acordo com as condições meteorológicas. Ambientes quentes e secos podem exigir mais água, enquanto em ambientes frios e húmidos pode ser necessária uma redução ligeira de água.

Ficha de Dados do Produto  
Sika® FastFix-138 TP  
Outubro 2018, Versão 01.02  
020201030030000038



## CURA

Proteger Sika® FastFix-138 TP da evaporação acelerada, da chuva e da geada, durante o endurecimento.

## LIMPEZA DE FERRAMENTAS

Limpar todas as ferramentas e equipamento com água imediatamente após a utilização. Material curado/endurecido só pode ser removido mecanicamente.

## VALOR BASE

Todos os dados técnicos referidos nesta Ficha de Produto são baseados em ensaios laboratoriais. Resultados obtidos noutras condições podem divergir dos apresentados, devido a circunstâncias que não podemos controlar.

## RESTRIÇÕES LOCAIS

Por favor, ter em atenção que o desempenho deste produto poderá variar ligeiramente de país para país, em função dos parâmetros regulamentares específicos de cada local. Por favor, consultar a Ficha de Produto para a descrição completa dos campos de aplicação.

## ECOLOGIA, SAÚDE E SEGURANÇA

Para informação e aconselhamento sobre o manuseamento seguro, armazenamento e eliminação de produtos químicos, os utilizadores devem consultar as respectivas Fichas de Dados de Segurança (FDS) mais recentes contendo os dados físicos, ecológicos, toxicológicos e outros relacionados com a segurança.

## NOTA LEGAL

A informação, e em particular as recomendações relacionadas com aplicação e utilização final dos produtos Sika, são fornecidas de boa fé e baseadas no conhecimento e experiência dos produtos sempre que devidamente armazenados, manuseados e aplicados em condições normais, e de acordo com as recomendações da Sika. Na prática, as diferenças no estado dos materiais, das superfícies, e das condições de aplicação em obra são de tal forma imprevisíveis que nenhuma garantia a respeito da comercialização ou aptidão para um fim em particular, nem qualquer responsabilidade decorrente de qualquer relacionamento legal, poderão ser inferidas desta informação, ou de qualquer recomendação por escrito, ou de qualquer outra recomendação dada. O produto deve ser ensaiado para aferir a adequabilidade do mesmo à aplicação e fins pretendidos. Os direitos de propriedade de terceiros deverão ser observados. Todas as encomendas aceites estão sujeitas às nossas condições de venda e de entrega vigentes. Os utilizadores deverão sempre consultar a versão mais recente e específica da nossa Ficha de Produto a que diz respeito, e que será entregue sempre que solicitada.

Sika Portugal, SA  
Rua de Santarém, 113  
4400-292 V. N. de Gaia  
Tel.: +351 223 776 900  
prt.sika.com



Ficha de Dados do Produto  
Sika® FastFix-138TP  
Outubro 2018, Versão 01.02  
020201030030000038

SikaFastFix-138TP-pt-PT-(10-2018)-1-2.pdf





ANEXO B- PROJETO DE INSTALAÇÃO: TESTE PILOTO *NEXT-ROAD*

Projeto técnico confidencial, para mais informações contactar *Pavnext – Technological Pavements, Lda.*

