

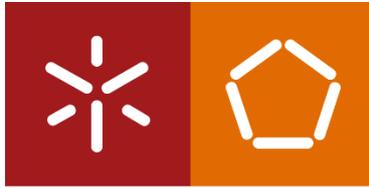


Ricardo Daniel de Sousa Santos

**SENSORIZAÇÃO NA MONITORIZAÇÃO DO
SISTEMA DE TRANSPORTES
EM SMART CITIES**

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Ricardo Daniel de Sousa Santos

**SENSORIZAÇÃO NA MONITORIZAÇÃO
DO SISTEMA DE TRANSPORTES
EM SMART CITIES**

Dissertação de Mestrado

Engenharia Urbana

Planeamento

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor Paulo Jorge Gomes Ribeiro

julho de 2021

"If you fail to plan you are planning to fail"
Benjamin Franklin (1706 - 1790)

"You will either step forward into growth, or you will step backward into safety"
Abraham Maslow (1908 - 1970)

"Console-toi, tu ne me chercherais pas si tu ne m'avais trouvé"
Blaise Pascal (1623 - 1662)

"La utopía, sirve para caminar"
Eduardo Galeano (1940 - 2015)

Despacho RT - 31 /2019 - Anexo 3

Declaração a incluir na Tese de Doutoramento (ou equivalente) ou no trabalho de Mestrado

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



**Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual
CC BY-NC-SA**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Despacho RT - 31 /2019 - Anexo 4

Declaração a incluir na Tese de Doutoramento (ou equivalente) ou no trabalho de Mestrado

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

As necessidades de mobilidade cresceram exponencialmente e os padrões alteraram-se significativamente, especialmente nos núcleos urbanos, resultado do desenvolvimento económico, tecnológico e social. Uma das principais consequências deste progresso foi a melhoria das infraestruturas rodoviárias e o aumento significativo da taxa de motorização que, aliado a um modelo de ordenamento do território que promove a descentralização das atividades, de serviços e progressiva dispersão urbanística, progrediu para o aumento das distâncias percorridas, a utilização de viatura particular e a dificuldade na sustentabilidade dos serviços de transporte público nos movimentos pendulares.

As *smart cities* ou as cidades do futuro, inevitavelmente estão associadas ao desenvolvimento tecnológico como apoio na obtenção da eficiência na gestão dos recursos escassos e produção sustentável do desenvolvimento económico e da qualidade de vida.

Em áreas densamente ocupadas com as infraestruturas do sistema de transportes plenamente delineadas, a gestão do espaço substitui o aumento da capacidade, na inevitabilidade dos impactes económicos, do ruído e poluição atmosférica inerentes ao congestionamento.

O planeamento estratégico dos transportes procura um projeto dominado por tratamento paisagístico, modos ativos e transportes coletivos, onde o veículo particular constitui uma alternativa secundária nas opções de mobilidade, o indivíduo atua como matriz essencial na otimização da relação com o espaço e os dados partilhados como fundação para a construção de um sistema que permita responder adequadamente às necessidades das instituições, empresas e população em geral.

A monitorização permanente com recurso a sensores que detetam características da envolvente ambiental, que comunicam periodicamente ou em tempo real e permitem o posterior tratamento dos dados armazenados para a disponibilidade de informação relevante e direcionada para a tomada de decisão do indivíduo ou coletivo, afirma-se como perentória na reestruturação do sistema de transportes, no estudo de comportamentos e no desenvolvimento social, económico e ambiental das cidades do futuro.

Palavras-chave: mobilidade; sensores; *smart*; sustentabilidade; *wireless*.

ABSTRACT

Mobility needs have grown exponentially and their standards significantly changed, especially in urban cores, as a result of economic, technological and social development. One of the main consequences of this progress was the improvement of road infrastructures and the significant motorization rate increase, which, together with a spatial planning model that promotes the activities and services decentralization and the progressive urban dispersion, promoting traveled increased distances, the private vehicle use and the difficulty in public transport services sustainability for commuting.

Smart cities, or future cities, are inevitably associated with technological development as support for achieve efficiency in the scarce resources management, production of economic development and life quality sustainable.

In densely occupied areas with fully outlined transport system infrastructure, space management replaces the capacity increase, in economic impacts inevitability, noise and air pollution and inherent to traffic congestion.

Strategic transport planning demand a dominated project by treatment landscape, active modes and public transport, where the private vehicle constitutes a secondary alternative in mobility options, the individual acts as an essential matrix in the space relationship optimization and the shared data as system construction foundation that allows appropriate answer to institutions, companies and population needs.

Permanent monitoring using sensors that detect wrap environment characteristic, with periodically or real time communication and allow stored data subsequent treatment for relevant and directed information availability to individual or collective decision making, asserts itself as peremptory in the transport system restructuring, in the behaviors study and social, economic and environmental developments in future cities

Keywords: mobility; sensors; smart; sustainability; wireless.

ÍNDICE

RESUMO	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE	VII
LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS	X
LISTA DE NOMENCLATURAS	XV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVIII
ÍNDICE DE TABELAS, MAPAS E GRÁFICOS	XIX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento geral.....	3
1.2. Objetivos e metodologias.....	4
1.3. Estrutura da dissertação	5
2. SMART CITIES E A MOBILIDADE	7
2.1. Planeamento dos transportes.....	8
2.2. Perspetiva jurídica da sustentabilidade	10
2.3. Mobilidade sustentável smart.....	12
3. PLANEAMENTO E GESTÃO DOS TRANSPORTES	15
3.1. Sistema de transportes terrestres.....	16
3.1.1. Hierarquia da rede rodoviária.....	17
3.1.2. Rede ferroviária	20
3.1.2.1. Dimensão da rede ferroviária	23
3.1.2.2. Monitorização na rede ferroviária	24
3.2. Atividade económica	24
3.2.1. Eficiência económica e a equidade.....	27
3.3. Características da oferta de transporte	28
3.4. Características da procura de transporte	30
3.4.1. Acessibilidade	31
3.4.1.1. Produção de viagens.....	32
3.4.2. Escolha do modo de transporte.....	33
3.4.3. Congestionamento.....	36
3.4.3.1. Redução do congestionamento	38
3.4.3.2. Poluição sonora.....	40
3.5. Influência dos custos na localização industrial	42

3.5.1.	Logística urbana	43
3.6.	Modos ativos de transporte	45
3.7.	Serviços públicos de transporte	48
4.	ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E OS TRANSPORTES	52
4.1.	Sistema Terra-atmosfera	52
4.1.1.	Espectro eletromagnético	53
4.1.1.1.	Faixas de radiação não ionizante	55
4.2.	Gases de efeito estufa	58
4.2.1.	O gás de referência	59
4.3.	Impactes sociais das alterações climáticas	61
4.4.	Análise de vulnerabilidades e gestão de riscos	62
4.5.	Mitigação e adaptação nas áreas urbanas	64
4.5.1.	Mitigação	65
4.5.2.	Adaptação	67
4.6.	Governança	69
4.7.	Setor da energia	72
4.8.	Setor dos transportes	76
4.8.1.	Mitigação nos transportes	79
4.9.	Poluição atmosférica	83
4.9.1.	O ar e a saúde pública	87
4.10.	Evolução tecnológica	89
4.10.1.	Mobilidade elétrica	90
4.10.2.	Carregamento wireless de veículos elétricos	92
5.	MONITORIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTES	97
5.1.	Função de monitorização	98
5.2.	Serviços de sistemas de transporte inteligentes	99
5.2.1.	Sistema de transporte inteligente cooperativo	101
5.2.1.1.	Comunicações em STI-C	102
5.3.	Rede de sensores wireless	104
5.3.1.	Routing nas RSW	106
5.3.1.1.	Protocolos de <i>routing</i> planos e hierárquicos	107
5.3.2.	Tecnologia Zigbee	109
5.3.3.	Tecnologia LoRaWAN	112
5.3.4.	Prolongar a vida útil de RSW	114

5.3.4.1.	Protocolo para transferência de energia wireless	118
5.4.	Sensores de tráfego	119
5.5.	Sensores magnéticos	123
5.5.1.	Magnetómetro fluxgate de dois eixos	123
5.5.1.1.	Configurações do magnetómetro.....	125
5.5.2.	Sensor magnético despertado por sensor ótico	128
5.6.	Sensor de tensões para pavimentos rodoviários.....	130
5.7.	Sensores radar de micro-ondas.....	132
5.7.1.	Frequency modulated continuous wave	133
5.8.	Deteção de tráfego não motorizado	135
5.9.	Transportes públicos.....	138
5.10.	Meteorologia e gases poluentes	142
5.10.1.	Princípio de funcionamento	144
6.	APLICAÇÃO NA CIDADE DE GUIMARÃES	147
6.1.	Caracterização do território administrativo	147
6.2.	O planeamento dos transportes e as alterações climáticas	150
6.2.1.	Clima do concelho de Guimarães.....	152
6.2.2.	Análise de vulnerabilidade	153
6.2.3.	Gestão de riscos	154
6.2.4.	Mitigação	155
6.2.5.	Medidas e opções de adaptação	158
6.3.	Propostas de monitorização	161
6.3.1.	Estacionamento.....	162
6.3.2.	Parques de carregamento para bicicletas.....	163
6.3.2.1.	Planeamento das infraestruturas de modos ativos de transporte.....	166
6.4.	Transportes públicos.....	167
6.5.	Gestão de tráfego rodoviário.....	169
6.5.1.	Área de implementação	169
7.	CONCLUSÃO.....	174
BIBLIOGRAFIA.....		178

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

5G	New Radio
5GAA	5G Automotive Association
AC	Alternating current
ADC	Analog to digital converter
AEA	Annual emission allocations
AFE	Analogue front end
ANACON	Autoridade Nacional de Comunicações
AODV	On Demand Distance Vector
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
ASF	Autoridade de Supervisão de Seguros e Fundos de Pensões
B&B	Branch and Bound
BE	Bicicletas elétricas
C2C-CC	CAR 2 CAR Communication Consortium
CAM	Connected and automated mobility
CCDR-N	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte
CdS	Cadmium sulphide
CDVE	Carregamento dinâmico de veículos elétricos
CELE	Comércio Europeu de Licenças de Emissão
CEM-RF	Campos Eletromagnéticos de Radiofrequência
CEN	European Committee for Standardization
CER	Cluster-based energy-aware routing
CH	Cluster chefe
COV	Compostos orgânicos voláteis
COVNM	Compostos orgânicos voláteis não metânicos
CSMA/CA	Carrier sense multiple access with collision avoidance
CSS	Chirp spread spectrum
C-V2X	Cellular vehicle-to-everything
CWVE	Carregamento wireless de veículos elétricos
DC	Direct current
DCC	Decentralized congestion control

DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
DSRC	Dedicated short-range communication
EC-GSM-IoT	Extended Coverage GSM Internet of Things
EEPROM	Electrically erasable programmable read only memory
EHF	Extremely high frequency
EN	Estradas Nacionais
EP	Estradas de Portugal
ER	Estradas Regionais
ETSI	European telecommunications standards institute
EUA	Estados Unidos da América
FFD	Full funcion device
FG	Floating gate
FHWA	Federal Highway Administration
FMCW	Frequency modulated continuous wave
FSK	Frequency shifting keying
GEE	Gases de efeito estufa
GHOST	Galileo enhancement as booster of the smart cities
GMR	Giant Magnetoresistive
GNC	Gás natural comprimido
GNL	Gás natural liquefeito
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPL	Gás de petróleo liquefeito
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
GWP	Global warming potential
HC	Hidrocarbonetos
HFC	Hidrofluorcarbonetos
HMI	Human machine interface
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
I&D+i	Investigação, desenvolvimento e inovação
I2I	Infrastructure-to-infrastructure
IC	Itinerário Complementar

ICNIRP	International commission on non-ionizing radiation protection
IdC	Internet das coisas
INE	Instituto Nacional de Estatística
IP	Itinerário Principal
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
ISM	Industrial Scientific and Medical
ISO	International Organization for Standardization
ISP	Imposto sobre produtos petrolíferos
ISV	Imposto sobre veículos
ITS-G5	Intelligent transport systems at 5,9 GHz
IUC	Imposto único de circulação
LAeq	Nível de pressão acústica contínuo equivalente
LBU	Local base unit
LDR	Light dependent resistor
LEACH	Low energy adaptive clustering hierarchy
LED	Light-emitting diode
LF	Low frequency
LIDAR	Light detection and ranging
LLGHG	Long lived greenhouse gases
LMIC	Logit model of individual choice
LR-WPANs	Low-rate wireless personal area networks
LTE-M	Long Term Evolution for Machine-Type Communications
LTE-V2X	Long Term Evolution for vehicle-to-everything
LULUCF	Land use, land use change and forestry
M2M	Machine to machine
MaaS	Mobility as a service
MAC	Medium access control
MECH	Maximum energy cluster head
MEMS	Microelectromechanical systems
NB-IoT	Narrowband Internet of Things
NDIR	Non dispersive infrared
OFDM	Orthogonal frequency division multiplexing

OSI	Open systems interconnection model
PDM	Plano Diretor Municipal
PETI3+	Plano Estratégico dos Transportes e Infraestruturas 2014-2020
PFC	Perfluorcarbonos
PMOT	Planos Municipais de Ordenamento do Território
PNEC2030	Plano Nacional Integrado Energia Clima 2030
PNPOT	Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território
PPP	Parcerias público-privadas
PRN	Plano Rodoviário Nacional
QPSK	Quadrature phase shift keying
Radar	Radio detection and ranging
RECM	Regulamento Geral das Estradas e Caminhos Municipais
REFER	Rede Ferroviária Nacional
REN	Rede Energética Nacional
RF	Radiofrequência
RFD	Reduce function device
RFID	Radio frequency identification
RPU	Remote processing unit
RRN	Rede rodoviária nacional
RSW	Rede de sensores wireless
RTD	Resistance temperature detector
RWIS	Road weather information systems
SAR	Taxa de absorção específica de energia
SDO	Standards Development Organizations
SHF	Super high frequency
STI	Sistemas de transporte inteligentes
STI-C	Sistema de transporte inteligente cooperativo
tag	Transponder
TCP	Transmission control protocol
TDT	Televisão digital terrestre
TEW	Transferência de energia wireless
TIC	Tecnologias de informação e comunicação

TREEPSI	Tree based energy eficiente protocol for sensor information
UE	União europeia
UE28	União Europeia a 28 países
UHF	Ultra high frequency
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UPS	Uninterruptible power system
UV	Radiação ultravioleta
V2I	Vehicle-to-infrastructure
V2N	Vehicle-to-network
V2P	Vehicle-to-pedestrian
V2V	Vehicle-to-vehicle
V2X	Vehicle-to-everything
VANET	Vehicular ad-hoc network
VE	Veículos elétricos
WDT	Watchdog timer
WLAN	Wireless local area network

LISTA DE NOMENCLATURAS

A_i^n	Medida de acessibilidade
$C_a(V_a)$	Relação custo-fluxo da via
C_{ij}	Custo geral da viagem entre a área i e a área j
C_{ma}	Custo marginal
D_j	Destinos
E_j^n	Medida de atração da área j
F_{ij}	Tarifa cobrada para viajar entre i e j
H_i^n	Características do agregado familiar
O_i	Origens
O_i^n	Total de viagens produzidas na área i para o tipo de pessoa n
P_1	Probabilidade de escolher a opção um
Q_s	Estado regular da capacidade da via
Q_s	Estado regular da capacidade da via
V_a	Fluxo na via a
$a_{1...6}$	Conversão em unidades comuns
c_k	Medida do custo da utilização da opção k
f_m	Modulação da frequência em Hz
t_0	Tempo de viagem sob condições de fluxo livre
t_{ij}^t	Tempo de espera
t_{ij}^v	Tempo de viagem de um veículo entre a área i e a área j
t_{ij}^w	Tempo de caminhada até à estação ou paragem
t_{nij}	Tempo de troca de transporte
\hat{v}	Velocidade estimada
ϕ_j	Custo do terminal associado à viagem entre i e j
μJ	Microjoule
A	Ampere
C_6H_6	Benzeno
CH_4	Metano

CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
COVNM	Compostos orgânicos voláteis não metânicos
dB	Decibel
dB(A)	Nível de pressão sonora ponderado
dBm	decibel miliwatt
eq.	Equivalente
f	Frequência
Gt	Gigatonelada
H ₂ S	Sulfeto de hidrogénio
Hz	Hertz
J	Joule
KW	Kilowatt
LAeq	Nível sonoro contínuo equivalente, em dB(A)
MJ	Megajoules
Mt	Megatoneladas
N	Azoto
N ₂ O	Óxido nitroso
NF ₃	Trifluoreto de Azoto
NH ₃	Amónia
NO	Monóxido de Azoto
NO ₂	Dióxido de Azoto
NO _x	Óxidos de Azoto
O ₂	Oxigénio
O ₃	Ozono
Pa	Pascal
p-Km	Quilometro passageiro
PM ₁₀ e PM _{2.5}	Partículas
Ppmv	Parts per million by volume
SF ₆	Hexafluoreto de Enxofre
SO ₂	Dióxido de Enxofre
T	Período

tep	Tonelada equivalente de petróleo
V	Volt
W	Watt
y	Amplitude
v	Velocidade
Ω	Ohm
$C(V)$	Relação custo-fluxo
CC	Custo composto
R	Distância
V	Todos os fluxos da rede
c	Velocidade da luz
f	Função
k	Modo de transporte
t	Tempo de viagem por unidade de distância
ΔF	Largura de banda de modulação de RF em Hz
ΔR	Resolução de alcance
ΔT	Diferença de tempo
Δf	Diferença da frequência
Δt	Tempo de atraso
α	Comprimento de onda
δ	Penalidade modal
λ	Coefficiente de sensibilidade calibrado
∂	Derivada parcial

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Organograma representativo da atividade económica.	26
Figura 2 – Gráfico da sensibilidade na escolha para o valor λ do logit model of individual choice.....	36
Figura 3 – Caracterização geral do efeito congestionamento e a obrigatoriedade da gestão eficiente do espaço densamente ocupado e medidas de contenção para o círculo vicioso entre o automóvel e o transporte coletivo.	40
Figura 4 – Espectro eletromagnético	54
Figura 5 – Organograma de análise de vulnerabilidade e gestão de riscos.....	64
Figura 6 – Parque de recarga de bicicletas elétricas com transferência de energia wireless e integração da reutilização de baterias de VE alimentadas por painéis fotovoltaicos e geridas por UPS e Tecnologia patenteada da Qualcomm Halo Dynamic.	96
Figura 7 – Arquitetura típica de um nó sensor, introdução de técnica de captação de energia e representação do conjunto de protocolos usados pelos nós em RSW.	106
Figura 8 – Configurações físicas de RSW com a introdução da tecnologia Zigbee.	112
Figura 9 – Representação da implementação de magnetómetros na superfície de pavimentos flexíveis.	128
Figura 10 – Representação da implementação da tecnologia radar de micro-ondas na superfície de pavimentos flexíveis, sobre e na lateral da estrada para a deteção de tráfego motorizado e não motorizado.	138
Figura 11 – Equipamento para realização de redes de sensores wireless (RSW) com sensores climáticos e de gases.....	146
Figura 12 – A mitigação e a adaptação no setor dos transportes.	161
Figura 13 – Exemplo de configuração de dispositivos de controlo de estacionamento com funções integradas..	163
Figura 14 – Implementação de uma rede de sensores wireless.	174

ÍNDICE DE TABELAS, MAPAS E GRÁFICOS

Tabela 1 – Restrições básicas para campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos (0 Hz – 300 GHz)	57
Tabela 2 – Principais gases de efeito estufa, o seu crescimento mundial no ano de 2018, o total das emissões mundiais e o potencial de aquecimento global no período de 100 anos.....	67
Tabela 3 - Medidas de mitigação e adaptação às alterações climáticas em área urbanas.....	68
Tabela 4 - Alguns elementos a considerar para a decisão de implementação de tecnologias de sensores de tráfego.....	122
Tabela 5 - Diretrizes gerais para a implementação de sondas de magnetómetro em vias rodoviárias com 3 metros de largura	126
Mapa 1 – Principais impactes projetados das alterações climáticas em Portugal continental	60
Mapa 2 – Principais redes de transporte de Guimarães e concelhos limítrofes, densidade populacional, localização das vilas e perímetro administrativo com relações funcionais da cidade.	150
Gráfico 1 - Emissões nacionais de GEE com e sem land use, land use change and forestry e Percentagem das emissões dos vários GEE em Portugal no ano de 2017.....	72
Gráfico 2 - Percentagem de emissões de GEE em Portugal por setor de atividade.	73
Gráfico 3 – Consumo primário de energia primária, consumo total de energia final e consumo de energia final por setor de atividade em Portugal no ano de 2017 acompanhado por organograma do percurso energético.....	76
Gráfico 4 – Emissão de GEE no setor dos transportes portugueses e composição do parque automóvel no ano de 2017.	79
Gráfico 5 – Emissão dos principais gases de efeito estufa (ktCO ₂ eq.), substâncias acidificantes e eutrofizantes (kt ácidoeq.) e concentração média anual de partículas PM ₁₀ e PM _{2,5} (µg/ m ³).....	86
Gráfico 6 - Número de veículos elétricos puros, híbridos plug-in e não plug-in matriculados em Portugal no período de 2010 a 2018 e Caracterização do mercado de veículos elétricos no ano de 2018.	92
Gráfico 7 - Deslocações pendulares em 2011 e Consumo de combustível automóvel por habitante (2011-2018) e Tipo de combustível fóssil final no concelho de Guimarães.....	158

1. INTRODUÇÃO

No futuro, predominantemente urbano, a função das tecnologias de informação e comunicação na gestão da eficiência dos serviços e das infraestruturas urbanas, será um fator determinante para a sustentabilidade, conforto, segurança e qualidade de vida nas cidades.

Numa visão holística, verifica-se a introdução do adjetivo qualificativo *smart* em variadíssimos temas do domínio científico e da engenharia. As *smart cities*, a *smart transportation*, o *smart urbanism*, a *smart mobility*, os *smartphones*, os *smart sensor*, atributo da facilidade de aplicar o conhecimento adquirido, a habilidade de utilização da inteligência de forma a aperfeiçoar projetos e concretizar as melhores ideias na satisfação das necessidades da generalidade.

A implementação de decisões nas cidades, só é inteligente, se estabelecer uma ligação perene com o desenvolvimento sustentável. A sustentabilidade é um dever do presente com futuro e encontra-se devidamente auxiliada por uma vasta gama de tecnologia que permite a monitorização, gestão e otimização na utilização dos recursos sempre escassos disponíveis para a sociedade.

A tecnologia emergente possibilita a colaboração e compatibilização entre as redes celulares, as redes *wireless*, a inteligência artificial e os avanços no hardware dos computadores, que conciliam o alto desempenho de processamento com a capacidade de armazenamento, para permitir às cidades mais *smart*, que utilizam as tecnologias de informação e comunicação e a participação ativa dos cidadãos na recolha e análise de dados, a distribuição de informação personalizada e em tempo real para a concretização de novas perspetivas de atuação no processo de tomada de decisão.

Os transportes são um serviço dedicado ao movimento de pessoas e de bens que incorpora a proteção da qualidade do ecossistema, o desenvolvimento económico, a coesão territorial e a equidade no acesso da população às oportunidades da sociedade.

Para planear e gerir o sistema de transportes, a introdução das opções de sensores de tráfego, meteorológicos e de gases poluentes, incorporadas em sistemas de transporte inteligentes, permitem a recolha, armazenamento e análise de uma ampla variedade de dados que aumenta significativamente a informação disponibilizada possibilitando a criação de serviços personalizados e a elaboração de projeções com rigor e exatidão.

A incorporação dos diversos objetivos de monitorização em redes de sensores *wireless*, permite a criação de uma rede de comunicação nas infraestruturas do sistema de transportes que garante a conectividade da globalidade do sistema, sem barreiras físicas e ubíqua, com dispositivos cooperativos e custos de implementação e manutenção reduzidos.

O capítulo *smart cities* e a mobilidade, aborda o conceito de *smart city*, na plenitude das funções da cidade, para proporcionar o crescimento económico, a qualidade de vida, a otimização de recursos e a maximização dos serviços ao cidadão. Demonstra a sustentabilidade como antípoda de um mero indicador e como o cerne do futuro desejado. Apresenta o sistema de transportes como fator fundamental do desenvolvimento económico e social. Caracteriza o planeamento estratégico do território e o planeamento dos transportes como setores inseparáveis e recíprocos.

O capítulo planeamento e gestão dos transportes, em uma associação para a coesão e desenvolvimento do território, abarca a sustentabilidade e eficiência dos serviços de transporte, como fundamentais para garantir serviços de qualidade, atrativos, acessíveis e credíveis, que satisfaçam as necessidades de mobilidade e atraiam utentes para as opções de transporte público.

Porque o setor da energia, que inclui os transportes, é o principal emissor de gases de efeito estufa e fundamental para a mitigação das alterações climáticas, o capítulo alterações climáticas e os transportes antecipa a energia primária como um fator crítico e a eletrificação do setor dos transportes como um desafio e uma oportunidade para garantir o desenvolvimento sustentável. Esclarece o fenómeno das alterações climáticas e apresenta soluções para a mitigação, critérios de adaptação, análise de vulnerabilidades e gestão de riscos.

O capítulo monitorização do sistema de transportes é o cerne tecnológico onde é apresentada a tecnologia que poderá ser utilizada para a realização de uma rede de sensores que permite a concretização de um sistema interoperável e ubíquo. Apresenta os princípios de implementação de redes de sensores *wireless*, com dispositivos colaborativos e sustentáveis, respetivos protocolos de acesso e encaminhamento e as técnicas de captação e transferência de energia que possibilitam a maximização da vida útil das baterias. Apresenta tecnologias de sensores para a monitorização dos fluxos de tráfego motorizado e não motorizado, de pavimentos rodoviários, de parques de estacionamento, meteorológicos e de gases poluentes. Tecnologias que, dependendo do objetivo de observação e das características do local de implementação, constituem a melhor opção para a gestão do tráfego rodoviário e para a recolha de dados ambientais.

O capítulo aplicação na cidade de Guimarães consiste na exposição das características físicas e climáticas do concelho de Guimarães, através de dados que permitem efetuar a avaliação das vulnerabilidades e a gestão de risco, para delinear estratégias de adaptação e mitigação às alterações climáticas. São expostas diversas soluções com critérios de sustentabilidade que garantem a eficiência dos serviços de transportes e que contribuem para a mitigação das alterações climáticas, para a gestão do espaço público e para a qualidade do ambiente urbano.

É proposto um modelo para a implementação de uma rede de sensores *wireless* de baixo custo, com manutenção reduzida, resiliente a fenómenos climáticos e sem a necessidade de construção de infraestruturas, para assim, garantir a monitorização do tráfego rodoviário e disponibilizar informação permanente e em tempo real. A rede implementada, localizada numa via que privilegia a circulação, permite a monitorização dos fluxos de tráfego, com a exceção dos peões, dos fenómenos climáticos e pode servir de apoio às comunicações de curto alcance dos veículos.

1.1. Enquadramento geral

Os desafios do sistema de transportes em *smart cities* envolvem, para além da introdução de novas tecnologias, uma serie de soluções participativas que contribuem para a satisfação das necessidades da população residente e visitante, sem qualquer tipo de barreira digital, para que todos possam estar conectados a todas as oportunidades que a cidade tem para oferecer.

O sistema de transportes terrestres compreende as infraestruturas e os fatores produtivos afetos às deslocações por via terrestre de pessoas e de mercadorias (LBSTT, 1990).

Para garantir a maximização e eficiências dos serviços é necessário considerar a globalidade do sistema e assimilar os princípios de produção de viagens, da preferência por destinos, as opções por modo de transporte, as dinâmicas de mobilidade, conhecer as infraestruturas existentes e saber como reestruturá-las para gerir o congestionamento e garantir uma resposta aos problemas sociais, económicos e ambientais.

É indispensável conhecer o paradigma da poluição atmosférica inerente aos veículos motorizados, para assim, satisfazer os parâmetros de qualidade ambiental e de saúde públicas nos meios urbanos e encontrar soluções para a mitigação das irreversíveis alterações climáticas.

A sensorização na monitorização do sistema de transportes abarca todo o sistema de planeamento dos serviços de transporte, através da recolha regular de dados para facilitar todas as etapas na estrutura de tomada de decisão, e assim, contribuir para a personalização de serviços adaptados às características individuais do utilizador e para a estruturação dos padrões e necessidades individual de mobilidade.

Pretende-se a incorporação de sensorização que permita a recolha de dados meteorológicos e das emissões de gases poluentes para influenciar o comportamento dos utilizadores e auxiliar na determinação de estratégias específicas de adaptação e de mitigação das alterações climáticas.

A implementação de um sistema de monitorização que forneça dados específicos, permanentes, com qualidade e em tempo real, para identificar alterações de comportamento dos utilizadores ao longo do tempo e contribuir para a redução do tempo de viagem, do congestionamento, melhorar a segurança e reduzir as emissões de poluentes para benefício dos utilizadores e *stakeholders* do sistema de transportes terrestre.

Um profissional de planeamento deve adquirir um conhecimento multidisciplinar, coerente na correlação entre as diversas funções intrínsecas a um sistema, deter um conhecimento completo para a elaboração de projetos fundamentados, com qualidade, com critérios de sustentabilidade e não ser apenas uma parcela repartida entre gabinetes ou ramos de conhecimento diversificados.

1.2. Objetivos e metodologias

As principais características de um sensor de tráfego é detetar e determinar o número e a classe de veículos, para assim, gerir os fluxos de entrada e saída em determinada via rodoviária, com recurso a sinalização apropriada. Contudo, pretende-se dotar os profissionais de planeamento do sistema de transportes terrestre com informação completa e com critérios de sustentabilidade, para enfrentar os desafios e prepara as novas dinâmicas de mobilidade em centros urbanos densamente ocupados.

Demonstrar como os transportes devem servir os interesses nacionais, como devem ser geridos e planeados para garantir o desenvolvimento socioeconómico e contribuir para a preservação da qualidade do ecossistema.

As dinâmicas dos movimentos são intrínsecas às características físicas e humanas de cada localização e o estudo do espaço assume-se como fundamental para a projeção de cenários.

A produção dos serviços de transporte tem como prioridade satisfazer as necessidades do consumidor ao mesmo tempo que cria padrões de consumo, com recurso a parâmetros de conforto e de segurança para garantir a preferência por transportes coletivos e modos ativos de transporte.

Após um conhecimento detalhado das envolvências e problemáticas dos transportes, infraestruturas e dinâmicas de mobilidade, organizou-se um capítulo dedicado à tecnologia para sensorização dos fluxos de tráfego motorizado, não motorizado, emissão de gases poluentes e meteorologia.

A tecnologia proposta abarca critérios de sustentabilidade, como a eficiência energética, o custo de implementação e de manutenção das redes. É uma tecnologia que permite a monitorização permanente, disponibilidade de dados em tempo real e assegura a globalidade das deteções.

A produção de um dispositivo que permite a totalidade dos objetivos de deteção permite a utilização do mesmo equipamento em diversas áreas, permitindo uma economia de escala e a correspondente produção de dispositivos com custos reduzidos.

São propostas soluções para o aumento da vida útil das baterias em conformidade com as características da tecnologia implementada.

Porque a monitorização está presente em todas as etapas do planeamento dos transportes e assume um papel determinante na prossecução das diretrizes de desenvolvimento territorial, é proposto um modelo de rede de sensores que satisfaz as características individuais da área de implementação e os padrões de qualidade exigidos que garantem a eficiência de uma monitorização permanente, com disponibilidade de informação em tempo real, para assegurar a gestão do tráfego motorizado e prevenir o congestionamento de uma das vias mais movimentadas da cidade de Guimarães.

1.3. Estrutura da dissertação

A dissertação procura demonstrar a origem da cidade e as correspondentes funções, como um ser orgânico onde todas as funções se complementam. Explicar a relação intrínseca entre o planeamento do território e o planeamento dos transportes e comprovar que os critérios de sustentabilidade são uma obrigatoriedade em qualquer planeamento estratégico.

A monitorização não é apenas uma etapa de um processo produtivo, é o elemento perturbador que influencia constantemente as dinâmicas no processo de tomada de decisão, neste sentido, são expostos os critérios para produzir serviços de transporte e projetar as atratividades e a acessibilidade.

As alterações climáticas representam uma problemática que ameaça o futuro da humanidade, é necessário perceber os principais parâmetros e conhecer as possibilidades de adaptação e mitigação que garantam a qualidade de vida no planeta Terra.

É fundamental conhecer e implementar tecnologias de gestão de tráfego e monitorização ambiental que permitam a deteção permanente e disponibilidade de dados em tempo real. A tecnologia deve ser escolhida e aplicada com critérios de sustentabilidade, nomeadamente, no custo de implementação, de

manutenção e durabilidade, para assim, gerir o tráfego, detetar fenómenos climáticos, detetar gases poluentes e desenvolver a conectividade entre os veículos, as infraestruturas e as pessoas.

A tecnologia é implementada para influenciar o planeamento e a gestão dos serviços de transporte e das áreas de destino, influenciar o comportamento dos utilizadores, produzir serviços personalizados e agrupar todos os dados em apenas um elemento para garantir um planeamento *smart*.

2. SMART CITIES E A MOBILIDADE

Estabelecida sobre uma base, mais ou menos variada, que é o seu sítio físico, a cidade, cujos aspetos formais são largamente determinados pelo seu planeamento e arquitetura, não é um elemento estático. Pode ser comparada a um ser vivo dentro do qual os órgãos desempenham funções, com ritmos e necessidades diferentes, em uma relação de complementaridade geral (Pelletier & Delfante, 2000).

Howard, o promotor das cidades jardim (Letchworth, em 1905 e Welwyn no pós-primeira guerra mundial), Tony Garnier, o inventor da cidade industrial (1901), Geddes (Inglaterra, 1915), Baumeister (Alemanha, 1904), Sitte (Áustria, 1889), Sória (Espanha, 1883) e Cerda (Espanha, 1859), são as referências que marcam o nascimento das teorias e dos planos da expansão das cidades e da resolução das contradições colocadas pelo desenvolvimento da industrialização capitalista.

A cidade industrial de Tony Garnier, com a sua lógica de equilíbrio separativo entre as diversas funções da cidade (trabalho, residência, lazer e comunicações) é a antecipação prática dos princípios filosóficos e urbanísticos da Carta de Atenas (Ferreira, 2005), que define as funções da cidade como a produção, o habitat, a cultura do corpo e do espírito e a circulação. A cidade é uma composição de funções, não existe nenhuma cidade que seja unicamente utilizada para habitação, para o sector terciário ou para o secundário.

O conceito de *smart city* sugere a utilização das tecnologias de informação e comunicação (TIC) para proporcionar um crescimento económico sustentável capaz de aumentar a qualidade de vida da população. A *smart city* é um aglomerado populacional que monitoriza e integra as condições críticas das infraestruturas, como estradas, pontes, túneis, linhas ferroviárias, aeroportos, portos marítimos e comunicações, para otimização de recursos, maximização dos serviços ao cidadão, planeamento das atividades de manutenção e monitorização da segurança (Escolara, *et al.*, 2019).

Para uma cidade ou um aglomerado populacional obter o estatuto de *smart city* é necessário desenvolver uma iniciativa *smart*, e. g., disponibilidade de conectividade em banda larga, preferencialmente gratuita, como a existente no centro histórico do concelho de Guimarães, implementação de postes de iluminação com *light-emitting diode* (LED), em substituição das lâmpadas incandescentes tradicionais ou a criação de infraestruturas para ciclistas e peões. É necessário organizar os recursos escassos em funções fundamentais para permitir a maximização dos serviços produzidos para a satisfação das necessidades da população. Tal transformação requer uma monitorização permanente, com disponibilidade de informação em tempo real, que envolve a utilização intensiva de sensores autónomos e a participação e cooperação de toda a população. Uma *smart city* é uma

localização onde as redes de serviços tradicionais se tornam mais eficientes através da utilização de tecnologias digitais e de telecomunicações que procuram a otimização na utilização dos recursos e produzem menos emissões de gases poluentes, e. g., a criação de uma rede de transportes urbanos mais inteligente, melhorar o abastecimento de água e as instalações de eliminação e tratamento de resíduos, formas mais eficientes de iluminação e aquecimento de edifícios, uma administração pública interativa e dinâmica, espaços públicos mais seguros e acessíveis.

2.1. Planeamento dos transportes

As cidades portuguesas geralmente adquirem uma estrutura ao longo das linhas ferroviárias dos subúrbios ou paralelas ao metropolitano, das estradas e sobretudo das autoestradas, a extensão das ramificações proporciona uma estrutura radial mais ou menos regular à aglomeração.

A repartição desigual das funções da cidade e da população propensa a movimentos característicos em vias localizadas no tecido urbano, resultando em um aumento da procura e em congestionamento já existente no séc. I em Roma.

Na época moderna (séc. XV a XVIII) os problemas de circulação eram os principais problemas das cidades. As primeiras operações de urbanismo foram obras de viação, de alinhamentos, de higienização, de penetrações, como os Boulevards de Haussmann em Paris no séc. XIX (Pelletier & Delfante, 2000).

O planeamento estratégico territorial foi introduzido em Portugal em 1990. Consiste em um processo para traçar planos de atuação para gerir recursos sempre escassos e conduzir homens, que têm espírito e sentimentos, para conquistar territórios, mercados ou qualidade de vida em condições adversas, de competitividade ou mesmo de crise aberta.

A estratégia pode ser definida como a argúcia para ultrapassar os obstáculos criados pela vontade do opositor. Onde exista antagonismo, haverá estratégia, i. e., um método de pensamento que permita hierarquizar e classificar ações para escolher os procedimentos mais eficazes orientados para a redução ou eliminação de oposições (Ferreira, 2005).

Enquanto o planeamento territorial convencional se ocupa fundamentalmente dos elementos físicos, como o uso de solo, as infraestruturas e os equipamentos, o planeamento estratégico visa definir e realizar um projeto de cidade, reforçar a competitividade e melhorar a qualidade de vida. O planeamento estratégico não é um sistema normativo nem um programa, é um projeto de futuro para uma cidade ou

uma região e sobretudo, um contrato de gestão entre atores políticos, económicos e sociais no processo de desenvolvimento territorial. O planeamento estratégico define um grande objetivo, um desígnio, os caminhos e os meios para o atingir, enquanto o planeamento urbanístico projeta (desenha) objetivos sobre o espaço (carta). O planeamento territorial e o planeamento estratégico não se excluem, complementam-se. O planeamento estratégico necessita do planeamento urbanístico para concretizar as ações de natureza espacial, que são sempre predominantes na qualificação e no reforço da competitividade das cidades e do território (Ferreira, 2005).

O planeamento estratégico é um processo, com uma abordagem sintética, de intervenção e interação política, cultural e social para pensar e definir objetivos fundamentais, a longo prazo, sobre a utilização dos recursos escassos. É um processo de reflexão e proposição participada sobre os cenários desejáveis e possíveis para determinar as medidas, as ações e os projetos suscetíveis de impulsionar a mudança, a qualificação e a competitividade de uma entidade, empresa, cidade, região ou país e de apoio às decisões de hoje, para a obtenção de um futuro sustentável.

Numa abordagem clássica ao planeamento dos transportes é necessário assimilar um modelo de quatro passos com dados de produção de viagens, de distribuição, da divisão modal e da atribuição de viagens.

Na recolha de dados para a produção de viagens é fundamental proceder a um estudo de áreas específicas e distintas para recolher dados relevantes relacionados com o grupo etário da população residente, o histórico dos agregados familiares, das atividades económicas e postos de trabalho, dos espaços comerciais e equipamentos, para determinar a quantidade de viagens produzidas, assim como, as medidas de acessibilidade, para garantir que a produção de viagens é alterada quando as infraestruturas são requalificadas para permitir uma mobilidade rápida, segura e confortável, e. g., linhas de metro ligeiro ou faixas BUS.

A recolha de dados da distribuição das viagens para determinado destino permite verificar a distribuição no espaço e assim, realizar uma matriz de viagens (O_i, D_j).

A recolha de dados relacionados com a opção de escolha por determinado modo de transporte e com a atribuição de cada viagem para cada modo de transporte, permitem compatibilizar o nível de serviço oferecido aos utilizadores (Ortúzar & Willumsen, 2001).

A partir de uma matriz base é produzido um planeamento com cenários alternativos, onde a preparação de cenários realistas e consistentes está dependente da evolução das políticas do uso do solo e do desenvolvimento económico que determinada área poderá ter no futuro, para assim, satisfazer a sustentabilidade económica dos serviços de transporte implementados.

Assimilando a conciliação do planeamento dos transportes com o planeamento territorial como vertentes inseparáveis dentro de um planeamento estratégico, verifica-se um sistema de transportes como aliado fundamental no desenvolvimento económico e na promoção da coesão territorial e, um planeamento territorial como produtor de acessibilidades na concretização de um ordenamento do território recíproco com as redes de transporte para a satisfação das necessidades do presente e do futuro.

2.2. Perspetiva jurídica da sustentabilidade

O conjunto de todos os avanços científicos e tecnológicos, introduzidos em um nicho prospero para os habitantes, é o sinónimo do pretendido para uma *smart city*. A sua proliferação pelo planeta Terra representa a resiliência e a adaptabilidade do ser humano para encontrar a imortalidade no usufruo da vida que a localização ideal do geoide têm para lhes dar.

O desenvolvimento do sistema de transportes e do setor da energia afigura-se como o grande impulsionador de novos paradigmas e investimentos na investigação, desenvolvimento e inovação (I&D+i) e no desenvolvimento económico, ambiental e social (sustentabilidade) em *smart cities*.

A sustentabilidade, em diversas literaturas, apresenta-se como mais um indicador com o topónimo de *sustainable smart cities*, mas afirma-se como fundamental para garantir a eficiência energética das cidades e a hereditariedade dos recursos escassos, através de novos modelos económicos baseados na eficiência, reutilização e circularidade e na economia de baixo carbono.

Na Constituição da República Portuguesa não existe uma proclamação genérica da sustentabilidade entre as tarefas fundamentais do Estado, nem uma referência geral à sustentabilidade como atributo na caracterização do Estado. No entanto, uma leitura transversal, mais cuidada e contextualizada, revela a sustentabilidade como um objetivo primordial do Estado português (Aragão, 2017).

No capítulo dos direitos e deveres sociais, contextualizado em ambiente e qualidade de vida, o desenvolvimento sustentável é referido como um objetivo expreso da proteção ambiental. “Para assegurar o direito ao ambiente, no quadro de um desenvolvimento sustentável, incumbe ao Estado, por meio de organismos próprios e com o envolvimento e a participação dos cidadãos, entre outros, controlar a poluição e promover um equilibrado desenvolvimento socioeconómico” (art.º 66º, nº 2, (CRP, 2005).

No capítulo da organização económica, no contexto de incumbências prioritárias do Estado, o desenvolvimento sustentável volta a ser expressamente referido como uma estratégia mais concreta, implicando visão, objetivos e um planeamento integrado (Aragão, 2017) para “promover o aumento do bem-estar social e económico e da qualidade de vida das pessoas, em especial das mais desfavorecidas, no quadro de uma estratégia de desenvolvimento sustentável” (art.º 81º, a), (CRP, 2005).

Diversos outros conceitos constitucionais podem reconduzir-se à ideia de desenvolvimento sustentável, na medida em que constituem afloramentos de algumas das suas várias dimensões e contribuem, articulando-se, para a sua operacionalização. É o caso dos conceitos de bem-estar e de qualidade de vida presentes entre as tarefas fundamentais do Estado e entre as incumbências prioritárias do Estado no plano económico e social, como objetivo dos planos de desenvolvimento económico e social, como finalidade do direito de ação popular e como finalidade da política fiscal (Aragão, 2017).

Na União Europeia (UE) a sustentabilidade é o centro de todas as atuações das instituições. No Tratado sobre o Funcionamento da União Europeia é enunciada a integração do ambiente no âmbito de todas as outras políticas sectoriais europeias como fundamental para o desenvolvimento sustentável. A mesma ideia é reafirmada na Carta dos Direitos Fundamentais da União Europeia, todas as políticas da união devem integrar um elevado nível de proteção do ambiente e a melhoria da sua qualidade e, assegurá-los de acordo com o princípio do desenvolvimento sustentável (Aragão, 2017).

A sustentabilidade exige a prossecução simultânea da prosperidade económica, do progresso social, da qualidade ambiental e do aperfeiçoamento da administração pública, relação intrínseca com a soberania das diretrizes portuguesas e da união europeia. É um fator definitivo e fundamental na concretização de *smart cities*, onde as iniciativas *smart* para a mobilidade, são seguramente as mais importantes.

O estatuto de *smart* é atingido quando é proporcionada qualidade de vida aos habitantes, não apenas na maximização de serviços para o conforto e segurança dos utilizadores, mas também, na redução das emissões de gases poluentes e de gases de efeito estufa, para salvaguardar a qualidade do ambiente urbano e a inevitável mitigação das alterações climáticas, contribuir para a eficiência energética, para a saúde pública, assim como, proporcionar equidade no acesso da população às oportunidades económicas e de lazer, contribuir para a competitividade e desenvolvimento económico local e regional para diminuir as disparidades regionais e aumentar a coesão territorial.

2.3. Mobilidade sustentável smart

A mobilidade sustentável é a capacidade de dar resposta às necessidades da sociedade em deslocar livremente, aceder, comunicar, negociar e estabelecer relações, sem sacrificar outros valores humanos e económicos hoje ou no futuro (WBCSD, 2002).

A realidade contemporânea procura um transporte seguro, rápido, eficiente, acessível e sustentável para satisfazer as necessidades de mobilidade e preparar a estratégia para uma mobilidade *smart*, que se pretende conectada, autónoma, elétrica e *wireless*.

A *machine learning* que através de algoritmos de inteligência artificial é capaz, desde 2014, de reconhecer imagens e linguagem natural com mais precisão que humanos, a realidade aumentada que permite a recolha de informações relevantes em tempo real sem a necessidade de qualquer verificação humana ou análise com o olho humano, a *big data* que permite rapidez no processamento e análise, de uma variedade e um volume massivo de dados, para a obtenção de informação relevante, a *cloud-fog computing* que funciona como um filtro para obter inteligência dos dados recolhidos dos sensores e para otimizar a capacidade limitada de armazenamento da nuvem (Indra, 2018) e a 5G (*New Radio*), desenvolvida pela 3GPP, que disponibilizará conectividade permanente e de elevada fiabilidade, suportada em redes que permitirão velocidades muito elevadas, valores de latência muito reduzidos e comunicações *machine to machine* (M2M) massivas (ANACON, 2020), são algumas das novas tecnologias que contribuem para o desenvolvimento da condução autónoma, do transporte conectado e do utilizador como matriz de uma nova oferta integral de serviços de mobilidade (Indra, 2018).

A realidade contemporânea de personalização de serviços adaptados às características de cada utilizador, envolve a recolha de dados, que dependendo da qualidade e quantidade, melhor será a personalização ou estruturação de padrões para satisfazer as necessidades individual de mobilidade. Quanto mais dados sobre o comportamento dos utilizadores estiverem disponíveis, mais fácil será personalizar a oferta e aumentar a capacidade de decisão dos *stakeholders*. Assim, para garantir a personalização de um serviço é fundamental o desenvolvimento da conectividade, a georreferenciação, as soluções de *big data* para micro segmentos de serviços e recolha de dados relevantes de um conjunto de utilizadores em tempo real. A personalização de serviços é uma oportunidade para a otimização de custos na gestão de veículos e infraestruturas do sistema de transportes (Indra, 2018).

Na mobilidade, os veículos conectados, juntamente com os dados obtidos de outros dispositivos pessoais e de estrada, permitiriam às empresas e administração pública recolher grandes volumes de dados relevantes, em parte, a importância em desenvolver o armazenamento em nuvem para os veículos

conectados. O desafio não seria encontrar dados relevantes, disponíveis em grandes quantidades, mas ser capaz de integrar os diferentes dados de cada fonte e extrair conclusões e relações despercebidas à primeira vista, como a potencial procura por transporte público, iniciativas eficientes para reduzir o nível de poluição e opções de utilização.

O conceito de *big data* e de internet das coisas (IdC)¹, reciprocamente dependentes da *machine learning*, no âmbito em que quanto maior o número de dados em circulação, melhores são os algoritmos de previsão e quanto melhores são os algoritmos, mais variáveis e relações entre variáveis podem ser detetadas e calculadas, permite a produção de serviços como a *mobility as a service* (MaaS) que promove a evolução do pagamento único para uma despesa relacionada com a utilização de serviços com taxas distintas. O utente deixa de comprar bilhetes únicos ou comprar ativos e as operadoras em troca da cedência de percentagem de vendas (despesas operacionais) usufruem de um serviço com funcionários qualificados e sem gastos adicionais com infraestruturas (despesas de capital), num cenário em que todas as partes envolvidas, operadoras, empresas de tecnologia e utentes obtêm benefícios.

O futuro da mobilidade consiste na transformação do veículo privado em alternativas de MaaS e de iniciativas públicas e privadas que alterem as mentalidades e produzam serviços integrados, partilhados e colaborativos (Indra, 2018). Esta transformação necessita da coordenação dos interesses públicos e privados, do desenvolvimento tecnológico, de programas setoriais e planos territoriais *smart* e da inovação em diversos modelos de negócio.

A heterogeneidade do território, nas suas formas físicas e sociais, determinará o desenvolvimento de soluções para a mobilidade local que se pretende conectada, multimodal, automatizada, elétrica, digital, por pedido, centrada no utilizador, partilhada, internacional, com uma gestão holística e interoperabilidade das infraestruturas digitais, que envolva a *ciber security* na *big data*, para a concretização de um transporte rápido, confiável, confortável e seguro e, que contribua para a qualidade do ar, mitigação das alterações climáticas e eficiência energética.

As novas tecnologias para o sistema de transportes em conjunto com as diversificadas necessidades de procura, promovem o desafio, no paradigma do desenvolvimento económico, da completa integração dos dados recolhidos e da gestão de utentes e *stakeholders* através de uma interoperabilidade entre todos os sistemas e tecnologias, sem barreiras ou vínculos tecnológicos e de uma intermodalidade eficiente e sustentável entre todos os modos de transporte.

¹ A Internet das coisas (IdC) refere-se à interconexão, através da Internet, de dispositivos incorporados em objetos do quotidiano, permitindo o intercâmbio de dados. A IdC *wireless* pode também utilizar serviços de comunicações eletrónicas com base em tecnologias celulares, que normalmente utilizam o espetro licenciado. As aplicações da IdC *wireless* são utilizadas numa vasta gama de setores industriais, tais como a energia e a indústria automóvel, estando dependentes da disponibilidade do espetro (Decisão de Execução (UE), 2018).

Para a concretização do futuro da mobilidade é necessário, dentro de um estudo específico para a particularidade de cada área, garantir a eficiência na utilização do espaço construído através de estratégias para a gestão do estacionamento, utilização de STI na gestão do tráfego e de incentivos à utilização de transportes coletivos, como investimentos em veículos de transporte público, nos serviços e opções de pagamento, na segregação de modos de transporte e introdução de rotas prioritárias (discriminação positiva), na construção de infraestruturas intermodais em estações ferroviárias e rodoviárias, para assim, garantir serviços confortáveis, rápidos e seguros.

A eficiência na gestão do espaço deve ser acompanhada por campanhas de sensibilização para a realização de viagens sustentáveis e divulgação dos novos conceitos de mobilidade para garantir a mitigação das alterações climáticas. Os novos conceitos de mobilidade requerem incentivos à criação de novos modelos de negócio como *bikesharing*, *scootersharing* ou *carsharing* e correspondentes serviços de manutenção, o desenvolvimento de infraestruturas para peões e ciclistas, a introdução de modos ativos na distribuição logística de *last mile*, o aumento das infraestruturas para carregamento de veículos elétricos e a definição de áreas de baixas emissões no centro dos aglomerados populacionais.

3. PLANEAMENTO E GESTÃO DOS TRANSPORTES

Para concretizar o planeamento do sistema de transportes, assimilar a monitorização e correspondente tecnologia digital a implementar é necessário conhecer as infraestruturas, as características de oferta e procura de serviços de transportes, os diversos modos de transporte que frequentam as cidades e as diferentes problemáticas, nomeadamente, dos transportes logísticos, transportes públicos, transportes particulares e modos ativos de transporte. Conhecimento geral para projetar um futuro sustentável, otimização de serviços e do espaço físico densamente ocupado com redes digitais plenamente integradas nos processos de planeamento, gestão e monitorização.

As infraestruturas das redes de transportes e das redes digitais são fatores fundamentais para o desenvolvimento económico e social das cidades. As redes de conectividade são cruciais para o ordenamento do território, promovem a interconexão dos ecossistemas, das pessoas e das atividades, contribuindo para a valorização dos recursos endógenos e para a implementação de um modelo de organização territorial mais sustentável (PNPOT, 2019).

Ao proporcionar uma maior equidade de oportunidades no acesso a equipamentos, a serviços e aos locais de emprego, através da consolidação dos corredores das redes de ligações rodoviárias e ferroviárias e de importantes nós de conectividade como as infraestruturas logísticas, é possível aumentar a competitividade, a diminuição das disparidades regionais e a coesão territorial.

As redes digitais também contribuem para o reforço da coesão e da integração territorial, nomeadamente, quando integradas nos processos de prestação de serviços ou em grande parte das tarefas do quotidiano, permitindo estabelecer as ligações entre territórios, pessoas, serviços e organizações, facilitando o desencadeamento de novos modelos de planeamento e gestão.

A sustentabilidade do setor dos transportes concretiza-se na eficiência económica, financeira e ambiental do Estado, das empresas, das operadoras e da sociedade em geral. Para desenvolver um sistema de transportes sustentável é fundamental concretizar um setor que promova o desenvolvimento empresarial, o turismo, a inovação, a criação de emprego qualificado e que estimule a internacionalização das empresas através da realização de uma rede de plataformas logísticas que promova a concentração de mercadorias, a realização de atividades de valor acrescentado e da eficiência na utilização de infraestruturas de transporte, como os portos, ferrovias, rodovias e aeroportos. É fundamental garantir uma oferta de serviços públicos de transporte de passageiros a nível local, regional e nacional que promova a migração do transporte individual para o transporte coletivo e a intermodalidade com qualidade, níveis de oferta e de serviço adequado à satisfação das necessidades da população. Os

serviços públicos de transporte devem ser auxiliados por políticas de apoio aos segmentos da população com menor rendimento para favorecer a coesão social (PETI3+, 2015).

3.1. Sistema de transportes terrestres

O sistema de transportes deve assegurar a mobilidade e acessibilidade a pessoas e bens, de forma eficiente e prestar um serviço adequado às necessidades, promovendo a coesão social e territorial.

Na divisão administrativa de grande parte dos aglomerados populacionais o sistema de transportes desenvolve-se maioritariamente por via terrestre. Nos aglomerados populacionais de maior dimensão existem algumas atividades económicas que efetuam os movimentos através de transporte aéreo, como o turismo, a logística de valor acrescentado, o transporte de grandes empresários e, a qualquer momento e em qualquer local, proveniente de uma urgência, os serviços de socorro e emergência.

Desde o Neolítico (5000 a.C.) que o ser humano procura locais com disponibilidade de água para poder prosperar e desenvolver comunidades densas. Os rios proporcionam terras férteis e redes de comunicação essenciais ao desenvolvimento local e fundamentais para a troca de excedentes a nível regional. No Egito, o rio Nilo é considerado um rio sagrado, a fonte de vida. Grande parte das maiores cidades² do mundo localizam-se em margens de rios, Lisboa (Tejo), Sevilha (Guadalquivir), *Nova Delhi* (Yamuna), Londres (Tamisa), Paris (Sena), Roma (Tibre), Xangai (Yangtze), *New York (Hudson)*, São Paulo (Jurubatuba), Berlim (*Spre*), são alguns exemplos de cidades que nasceram e desenvolveram atividades fluviais, paralelas e perpendiculares às margens do rio, para satisfazer as necessidades locais e regionais e prosperaram no tempo e espaço.

O transporte náutico é mais atrativo em aglomerados populacionais localizados nas margens dos rios, preferencialmente próximos da foz, última fase do ciclo da erosão de William Morris Davis, localização característica de peneplanície, com clara tendência para o leito do rio mais largo, no entanto, os processos erosivos e movimentos tectónicos decorrem ao longo de milhões de anos e o ser humano desenvolve-se no tempo num ciclo de vida manifestamente mais curto.

² Cidade é um aglomerado populacional contínuo, com um número de eleitores superior a 8000, possuindo pelo menos, metade dos seguintes equipamentos coletivos: instalações hospitalares com serviço de permanência; farmácias; corporação de bombeiros; casa de espetáculos e centro cultural; museu e biblioteca; instalações de hotelaria; estabelecimentos de ensino preparatório e secundário; estabelecimentos de ensino pré-primário e infantários; transportes públicos, urbanos e suburbanos; parques ou jardins públicos.

Comparando o relevo da cidade de Lisboa com a do Porto, verifica-se que, parte da área metropolitana de Lisboa, localizada nas margens do estuário do rio Tejo, beneficia de um serviço de transportes fluviais de alta capacidade que estabelece a ligação de aglomerados populacionais da margem sul, como o Barreiro, Seixal e Almada, a destinos na margem Norte, como o Cais do Sodré e o Terreiro do Passo, na cidade de Lisboa, contribuindo para uma ligação eficiente (tempo, custo) entre origem e destino de uma vasta área territorial.

Por outro lado, no concelho do Porto, apesar de ser junto à foz, não existe estuário e observam-se margens mais estreitas acompanhadas por vertentes declivosas que espraiam na aproximação da confluência com o mar, concretizando uma localização favorável (custo) para a implementação de infraestruturas (obras de arte) que possibilitam a travessia sem barreiras físicas e oferecem à população do concelho do Porto e do concelho de Vila Nova de Gaia uma opção na escolha do modo de transporte que pode diversificar entre o transporte rodoviário, ferroviário e ativo. Demonstra-se assim, uma primeira abordagem ao planeamento dos transportes ciente das heterogeneidades físicas e humanas locais.

Em Portugal, os grandes movimentos em aglomerados urbanos são efetuados por via terrestre. O sistema de transportes terrestres compreende as infraestruturas e os fatores produtivos afetos às deslocações por via terrestre de pessoas e de mercadorias no âmbito do território português. A organização e funcionamento do sistema de transportes terrestres têm por objetivos fundamentais assegurar a máxima contribuição para o desenvolvimento económico e promover a qualidade de vida da população, designadamente, através da adequação permanente da oferta dos serviços de transporte às necessidades dos utentes, sob os aspetos quantitativos e qualitativos e da progressiva redução dos custos sociais e económicos do transporte (art.º 1º e 2º, nº 1, a) e b), (LBSTT, 1990).

3.1.1. Hierarquia da rede rodoviária

O planeamento das redes de transporte pressupõe uma visão holística e integrada do sistema de transportes, das complementaridades entre os diferentes modos de transporte e da relação com o ordenamento do território e o ambiente. Deve ter em consideração as interações e sinergias com as restantes redes de transporte (ciclável, pedonal), o estacionamento e os aspetos relacionados com a logística urbana. O processo de planeamento da rede rodoviária deve otimizar a utilização das infraestruturas existentes de forma a assegurar uma acessibilidade multimodal em condições de

segurança e contribuir para a partilha coerente e equilibrada do espaço público existente. Aplicar medidas de gestão de tráfego para contribuir para a utilização equilibrada do transporte individual nas deslocações pendulares (casa/trabalho/escola) e contribuir para a sustentabilidade ambiental, assegurar a qualidade de vida das populações e contribuir para um desenvolvimento económico sustentável.

A hierarquia da rede rodoviária corresponde à classificação das vias de acordo com a função que devem desempenhar na totalidade do conjunto. Cada via obedece a características geométricas próprias realizadas em função da capacidade e velocidade de escoamento dos fluxos de pessoas e bens, da acessibilidade a determinada área comercial, de logística, de lazer e habitacional, da intensidade das atividades sociais que se desenvolvem na envolvente da via e da relação que a via estabelece com essas atividades (IMTT, 2011).

No topo da hierarquia encontra-se a rede Coletora ou Arterial, que exerce a função de assegurar os principais acessos ao concelho, as deslocações intraconcelhias de maior distância e, sobretudo, garantir o atravessamento entre concelhos garantindo as ligações intermunicipais e regionais. São vias contínuas, desenhadas para garantir a segurança de um elevado fluxo de tráfego a uma velocidade de circulação tendencialmente superior a 80 Km/h (Seco, *et al.*, 2008). A função de Coletora deve ser assegurada pelas infraestruturas da rede rodoviária nacional (RRN), formada pela rede fundamental³ e pela rede complementar⁴ (PRN, 1998).

Em seguida, encontra-se a rede de Distribuição Principal, que deve assegurar a distribuição dos maiores fluxos de tráfego do concelho, bem como, os percursos de média distância e o acesso à rede Coletora. São vias que podem não formar uma rede contínua, desenhadas para assegurar a segurança e um fluxo de tráfego relativamente estáveis de forma a reduzir o congestionamento, embora com restrições quanto à velocidade de circulação, na ordem dos 50 Km/h a 80 Km/h, e às ultrapassagens. As vias são, preferencialmente, para veículos motorizados, sendo o estacionamento autorizado desde que, longitudinal à via e afastado dos cruzamentos de maneira a salvaguardar o seu desempenho. Se existirem trajetos pedonais, deve-se promover a segregação modal, condicionar os atravessamentos a locais apropriados com semáforos ou com travessias desniveladas. Em enquadramento com a RRN, a

³ A rede fundamental integra os Itinerário Principal (IP) e as autoestradas. Os IP servem de base de apoio a toda a rede rodoviária nacional e asseguram a ligação entre os centros urbanos com influência supradistrital e destes com os principais portos, aeroportos e fronteiras (art.º 2º, n.º 1 e 2, (PRN, 1998). e a rede de autoestradas, é uma rede especialmente assinalada como autoestrada, formada pelos elementos da rede rodoviária nacional (IP e IC), que não servem as propriedades limitrofes (art.º 5º, n.º 1, (PRN, 1998).

⁴ A rede complementar é formada pelos Itinerário Complementar (IC) e pelas Estradas Nacionais (EN). Assegura a ligação entre a rede fundamental e os centros urbanos de influência concelhia ou supraconcelhia, mas infradistrital. Os IC são as vias que estabelecem as ligações de maior interesse regional e das principais vias envolventes e de acesso nas áreas metropolitanas de Lisboa e Porto (art.º 4º, (PRN, 1998).

função de distribuidora principal deve ser assegurada pelas Estradas Nacionais (EN), Estradas Regionais (ER)⁵ e Estradas Municipais (EM)⁶.

As soluções para cada tipo de via devem sempre ser desenvolvidas tendo em atenção as diferenças registadas a nível do ambiente envolvente e do nível e características do tráfego motorizado e não motorizado. Como exemplo o caso das distribuidoras principais em áreas remotas, que historicamente, devido à abundância de terrenos desvalorizados (dimensões, fragmentação, ruído) junto das bermas, beneficiaram do custo e da localização privilegiada em trajetos de rotas comerciais para criar o elemento comércio, produzindo novas dinâmicas que introduziram diversidade na opção de consumo e interromperam o círculo vicioso da mono atividade. O conseqüente desenvolvimento socioeconómico proporcionou o aumento demográfico e a presença de *hotspots* de atravessamento de peões, em vias que privilegiam a circulação, onde o crescente tráfego motorizado aumentou a suscetibilidade para a sinistralidade e exigiu a implementação de medidas de acalmia de tráfego.

Em grandes cidades como Lisboa, Porto e Braga, após a distribuidora principal ser envolvida numa densa malha urbana e a função substituída por vias externas com desenho contemporâneo, surge a opção de implementação da rede de Distribuição Secundária composta por vias internas aos aglomerados urbanos com importância complementar às de nível superior, que asseguram a distribuição de proximidade entre áreas urbanas de maior dinâmica, bem como, o encaminhamento dos fluxos de tráfego para as vias de nível superior. Coexistem as funções de circulação e de acessibilidade, por isso, é fundamental a construção de corredores segregados para cada modo de transporte para garantir a rapidez, o conforto e a segurança na circulação discriminando positivamente os modos ativos e coletivos de transporte. É permitido o estacionamento, os cruzamentos são tratados para garantir os fluxos (rotundas), principalmente para as vias hierarquicamente superiores.

Subsequentemente, encontram-se a rede de Distribuição Local, que deve ser composta por vias estruturantes ao nível do bairro, com alguma capacidade de escoamento, mas onde o elemento principal é o peão. São vias que devem formar uma rede contínua entre os diversos espaços locais, deter áreas de acalmia de tráfego para garantir uma velocidade moderada de 30 Km/h a 40 Km/h. Privilegiam a acessibilidade, existindo um maior número de atravessamentos e acesso livre aos terrenos adjacentes para garantir movimentos de proximidade. Devem existir passeios adjacentes às vias, os estacionamentos podem ser efetuados longitudinalmente ou transversalmente às vias, o desempenho

⁵ As Estradas Regionais (ER) garantem as comunicações de interesse supramunicipais e asseguram o desenvolvimento e serventia das zonas fronteiriças, costeiras, de interesse turístico e a ligação entre unidades territoriais de concelhos (art.º 12º, nº 1, 2, a) e b), (PRN, 1998).

⁶ As estradas não incluídas no Plano rodoviário nacional (PRN) integrarão as redes municipais (art.º 13º, nº 1, (PRN, 1998) reguladas pelo Regulamento Geral das Estradas e Caminhos Municipais (RECM).

dos cruzamentos ao nível da capacidade de escoamento deixa de ser crucial. É fundamental garantir níveis de segurança para os peões e razoáveis níveis de fluidez e de capacidade para os veículos. São vias rodoviárias que estabelecem ligações de proximidade entre os aglomerados populacionais das diversas freguesias, enquadrando-se nas EM, geridas pelas câmaras municipais.

O último nível da hierarquia é a rede de Acesso Local, que deve garantir o acesso rodoviário ao edificado, reunindo condições privilegiadas para a circulação pedonal. Nas vias de acesso local, a função de circulação deve ser fortemente desencorajada através do desenho geométrico, ordenamento e gestão do espaço e, a acessibilidade assume a predominância funcional da via. São vias descontínuas, criteriosamente desenhadas para garantir um fluxo mínimo de tráfego motorizado a uma velocidade de até 30 Km/h e garantir os níveis de segurança exigíveis para o habitat do rei peão em um ambiente propício para o contacto com a paisagem e as relações sociais. O estacionamento é livre, o desenho dos cruzamentos deve privilegiar a visibilidade dos condutores, a totalidade do espaço privilegia o peão podendo existir segregação modal ou o convívio entre os peões e veículos motorizados no mesmo espaço. O cadastro e licenciamento destas EM e caminhos municipais são da tutela das câmaras municipais.

Verifica-se assim, que as especificidades funcionais das diversas vias obedecem a uma estrutura própria, que nas vias estruturantes (coletora e distribuidora principal) prevalece a função de circulação e nas vias locais (distribuidora local e de acesso local) a funções de acessibilidade e do contacto socioeconómico de proximidade. A distribuidora secundária assume uma posição de charneira entre a circulação e a acessibilidade contribuindo para novas dinâmicas entre áreas urbanas e promoção da mobilidade sustentável.

3.1.2. Rede ferroviária

Os primeiros meios de transporte utilizados pelos humanos foram o barco e os animais de carga. Desde que Richard Trevithick, em 1804, readaptou o motor a vapor de James Watt e introduzido a tecnologia nos carris das minas para o transporte do carvão, criou a possibilidade de produção de um novo modo de transporte e subsequente desenvolvimento dos caminhos de ferros.

A primeira viagem de comboio em Portugal, entre Lisboa e o Carregado, realizou-se a 28 de outubro de 1856 (CP, 2020). Neste período a rede rodoviária era apenas um conjunto de fragmentos, quando Fontes Pereira de Melo assume o cargo de ministro, em 1852, Portugal possuía apenas 218 Km de

estradas macadamizadas e, quando deixa o cargo em 1887, já existiam cerca de 9000 Km de estradas, maioritariamente utilizadas por animais de carga e carroças. Uma política fontista que depois de Nicolaus Otto, em 1860, ter inventado o motor de combustão interna e, em 1886, Karl Benz registar a primeira patente de automóvel que marcou o nascimento dos veículos modernos, aumentou as expectativas para o grande investimento na modernização das infraestruturas do sistema de transportes portugueses.

Na cidade de Lisboa, em 1873, através da empresa Carris de Ferro de Lisboa, a força dos animais possibilitava o movimento de todas as carruagens sobre carris de ferro para o transporte da população local. Após a revolução industrial e a tentativa frustrada de substituição dos cavalos pelos motores a vapor, devido ao peso, ruído e fumo, em 1901 é inaugurada a primeira linha de tração elétrica (Carris, 2020).

Desde o princípio que os caminhos de ferro têm sido fator determinante na expansão e desenvolvimento das cidades e, atualmente, fator de consolidação urbana. Os aglomerados populacionais cresciam junto das estações ferroviárias, estruturando-se nas proximidades de um importante meio de transporte, criando polos comerciais, indústrias e bairros de operários.

Inicialmente implementadas nas áreas limites dos centros urbanos, com o *urban sprawl*, passaram a integrar o mobiliário urbanístico. As estações, carris, pátios ferroviários e outros equipamentos acabaram centralizados nas áreas metropolitanas e nas conurbações.

A partir da década de 50 do séc. XX, o transporte ferroviário entrou em declínio e os ramais internos das cidades foram progressivamente abandonados, devido à descentralização industrial e a crescente utilização do veículo particular motorizado. Na Europa e em Portugal existem centenas de quilómetros de linhas ferroviárias abandonadas, por vezes acompanhadas por património arquitetónico. A inclusão das *Greenway*, e. g., a ciclovia entre o concelho de Guimarães e o de Fafe, salvaguarda o património, quando existente, garante a continuidade do espaço produzido para a rede de transportes, oferece uma oportunidade para os residentes desenvolver atividades socioeconómicas locais, e. g., o ecoturismo e *bikesharing*, produz uma opção para as necessidades de mobilidade local com recurso a modos ativos de transporte que beneficiam de declives ligeiros característicos das redes ferroviárias e do contacto com o tratamento paisagístico, em uma clara relação com a mobilidade sustentável que também pode ser *smart* ou com o futuro desejado.

Atualmente, apenas as áreas metropolitanas do Porto e de Lisboa beneficiam do sistema de Metro ligeiro de subsolo e de superfície. No entanto, existe um projeto denominado Quadrilátero Urbano para a Competitividade, a Inovação e a Internacionalização, resultado da parceria entre os municípios de Guimarães, Barcelos, Braga e Vila Nova de Famalicão que pretende consolidar a divisão territorial como

a terceira maior concentração urbana de Portugal. Para a prossecução dos objetivos da parceria, a Universidade do Minho, a Associação Industrial do Minho e o Centro Tecnológico das Indústrias Têxtil e do Vestuário de Portugal, uniram-se para, entre outros, ajudar a implementar uma malha regional de fibra ótica, que deverá sustentar a oferta de serviços de interesse público diversos e a criação de um sistema integrado de transportes. Na ambição do Quadrilátero, integra-se o projeto da rede de metro de superfície que estabelecer a ligação entre os concelhos de Guimarães e Braga, um desejo antigo que ainda não têm a aprovação do Estado. No entanto, apesar do metro de superfície, com características parciais de subsolo, pois o relevo irregular do noroeste de Portugal continental assim o obriga, ser um meio de transporte por excelência com facilidade de transbordo com outros modos de mobilidade coletivos e individuais, do denso núcleo urbano para servir a cidade até tendencialmente aproximar-se dos caminhos de ferro do subúrbio, com maior velocidade e segurança, trata-se de uma solução adotada por todas as grandes cidades de tecido suficientemente denso, porque quando as densidades diminuem rapidamente a rentabilidade do sistema é mais fraca.

A construção de uma rede de metro monopoliza os pressupostos do sistema de transportes, obviamente integrado em um desenvolvimento sustentável, nomeadamente através da eficiência energética nos serviços prestados, da promoção da mobilidade e da garantia de sustentabilidade financeira. Nos relatórios de sustentabilidade da empresa Metro do Porto e da empresa Metropolitano de Lisboa a relação entre objetivos é evidente.

Promover a consolidação e a contenção das áreas urbanas, através do contributo para a alteração dos padrões de utilização, ocupação e transformação do solo, planeando a competitividade territorial, a sustentabilidade ambiental e a coesão social.

Produzir um serviço que privilegia a velocidade e a segurança de circulação, a articulação com os restantes operadores de transporte coletivo (intermodalidade), que promove a mobilidade sustentável e ambiciona a progressiva captação de movimentos ao transporte individual, contribuindo para novas dinâmicas económicas e sociais.

3.1.2.1. Dimensão da rede ferroviária

As linhas e ramais da rede ferroviária portuguesa para o transporte de pessoas e bens a nível regional e internacional é da responsabilidade da empresa Infraestruturas de Portugal. Em exploração e não exploradas, apresentavam a 31 de dezembro de 2018, uma extensão total de 3621 km. Encontra-se em exploração 70 % da rede, correspondente a uma extensão de 2546 km, dos quais, 1935 km em via única e 611 km em via múltipla. Do total da rede em exploração, 1639 Km ou 64 % de extensão da mesma corresponde a uma rede eletrificada. Em 2018 encontravam-se 440 estações ferroviárias em exploração, sendo 407 com serviço exclusivo de passageiros, 10 de serviço exclusivo de mercadorias e 23 de serviço misto (Infraestruturas de Portugal, 2018).

A nível local, para o transporte de passageiros, através de contrato de subconcessão em regime de parcerias público-privadas (PPP), a empresa Metro do Porto gere uma rede com 82 estações numa extensão que excede os 67 Km. Uma frota com 102 veículos (Eurotram e Tram Train) que transportam mais de 200 mil passageiros, em 509 viagens diárias. Desde 2012, transportou cerca de 635 milhões de pessoas. Em 2017 atingiu um novo record ao ultrapassar a barreira dos 60 milhões de clientes (Metro do Porto, 2017). A 21 de dezembro de 2018 a empresa lançou um concurso público internacional para a aquisição de 18 veículos novos com capacidade para 240 lugares, dos quais 60 obrigatoriamente sentados, passando para 120 veículos através de um investimento de 56,1 milhões de euros. Em 2020 iniciaram as obras para aumentar 6 Km à rede e construir sete novas estações, com final previsto para 2023 em um investimento global de aproximadamente 307 milhões de euros e uma estimativa de 13 milhões de novos clientes por ano (Metro do Porto, 2018).

A empresa Metropolitano de Lisboa, que também opera em regime de concessão PPP, em 2017 operava no concelho de Lisboa e nos concelhos limítrofes de Amadora e Odivelas com uma frota de 333 carruagens. Possui uma rede composta por quatro linhas com cerca de 44,5 km de comprimento e 56 estações (Metropolitano de Lisboa , 2016).

A rede de metro ligeiro de superfície de Lisboa, pertence à concessão de serviço público de transporte coletivo de superfície de passageiros de Lisboa e incorpora um sistema de transportes integrado, gerido pela empresa Carris. Encontra-se em exploração uma infraestrutura ferroviária com uma extensão aproximada de 53 km, em via simples, e cerca de 16 km de via reservada BUS. São utilizados carros elétricos históricos e articulados (Carris, 2019).

3.1.2.2. Monitorização na rede ferroviária

A rede ferroviária, por deter uma infraestrutura completamente segregada e com percursos únicos para a operacionalidade dos veículos, apresenta uma sensorização e comunicação na monitorização, amplamente automatizada. O sistema de controlo de velocidade CONVEL associado a sistemas de sinalização elétrica ou eletrónica, está instalado em cerca de 67 % da rede em exploração (1695 km). O sistema complementar de segurança Rádio Solo-Comboio está implementado em 59 % da rede em exploração (1510 km). O Rádio Solo-Comboio está a ser alvo de modernização, evoluindo para a tecnologia digital GSM-R (*Global System for Mobile Communications – Railways*), que está implementada em 25 km da rede. Existem 116 km de rede em exploração com GSM-P (P, significa que as comunicações são efetuadas através da Rede Pública) (Infraestruturas de Portugal, 2018).

3.2. Atividade económica

Karl Marx, em 1859, descrevia uma opinião analítica sobre a atividade económica⁷ e a relação entre as etapas de um conjunto de operações intrínsecas no seio de uma unidade, com início na produção (bens e serviços), seguindo-se a distribuição (transporte e comércio), a troca e o consumo (satisfação das necessidades).

O consumo cria os objetos da produção, mas sob uma forma ainda subjetiva. Sem necessidade não há produção, ora, o consumo reproduz as necessidades. A produção fornece ao consumo o seu objeto. Sem produção não há consumo, mas sem consumo também não há produção, pois, a produção seria inútil. A produção proporciona não só um objeto material à necessidade, mas também, uma necessidade ao objeto material. Ao criar um objeto para o sujeito, cria também, um sujeito para o objeto fornecendo-lhe a sua matéria, determinando o modo de consumo e provocando no consumidor a necessidade de produtos que ela criou originariamente como objetos. Neste sentido, a produção cria, produz o consumo. Porém, a produção não fornece apenas um objeto de consumo, dá-lhe também, o seu caráter específico e determinado. Um objeto bem determinado e que tem de ser consumido de uma maneira determinada,

⁷ A atividade económica é o conjunto de operações que visam a produção de bens e serviços capazes de satisfazer as necessidades humanas. Engloba as atividades de produção, distribuição, repartição e a utilização de rendimentos, no qual, são incluídos o consumo e a poupança.

a qual, por sua vez, tem de ser mediada pela própria produção. A produção é consumo, o consumo é produção, é aquilo que os economistas chamam de Consumo Produtivo (Marx, 1859).

A distribuição interpõe-se entre a produção e o consumo que mediante leis sociais, determina a proporção, o quantum de produtos que pertence ao indivíduo. Quando observado o capital, que assume a forma de agente da produção (juros e lucro) e a forma de fonte de rendimento (salário), i. e., como um elemento determinante de certos modos de distribuição, verifica-se que um indivíduo que contribui para a produção com o seu trabalho assalariado participa sob a forma de salário na distribuição dos objetos criados pela produção. O rendimento é a premissa que determina a distribuição. A própria distribuição é um produto da produção, tanto no que se refere ao seu objeto, pois só se podem distribuir os resultados da produção, como no que se refere à forma sob a qual se participa na distribuição. Assim, a estrutura da distribuição é completamente determinada pela estrutura da produção.

A troca não é mais do que um momento mediador entre a distribuição, determinada pela produção, e o consumo. Dado que o próprio consumo aparece também como um momento da produção, é evidente que a troca é também um momento da produção. A intensidade da troca, assim como, a sua extensão e a sua estrutura, são determinadas pelo desenvolvimento e pela estrutura da produção.

Concluindo, a produção, a distribuição, a troca e o consumo são elementos de um todo e representam diversidade no seio da unidade. A produção é o elemento que predomina, é a partir dela que o processo se reinicia. Por conseguinte, a produção determina o consumo, a distribuição e a troca, determina ainda as relações recíprocas e determinadas entre estes diversos elementos.

A produção em sentido estrito também é determinada pelos outros elementos. Quando o mercado se expande a produção aumenta de volume e divide-se ainda mais. Quando o capital se concentra ou quando se modifica a distribuição dos habitantes entre, e. g., a cidade e o campo, a produção modifica-se devido às alterações da distribuição. Por último, as necessidades de consumo influenciam a produção. Existe uma interação de todos estes elementos, isto é, próprio de um todo orgânico (Marx, 1859).

A procura por transporte está sempre relacionada com a produção, investimento e consumo. O sistema de transportes assume um papel preponderante no comércio interno e externo. Sem transportes funcionais haveria um somatório estanque de economias locais.

Diretamente, segundo os Censos de 2011, a população empregada na atividade económica de transporte e armazém, corresponde a 3,6 % do total da população empregada em Portugal. Em Guimarães corresponde a 1,5 % do total da população empregada. Indiretamente, certamente será a percentagem remanescente, porque vislumbra-se um exercício complicado para encontrar agentes

económicos⁸ que não necessitem de serviços de transporte para o tratamento logístico ou para satisfazer as necessidades de mobilidade dos funcionários.

A procura por transporte está positivamente correlacionada com a economia. Quando existe crescimento económico, a produção de serviços de transporte aumenta, porque é o serviço procurado pelas empresas produtoras. Por outro lado, quando bem planeados, os serviços de transporte aumentam a taxa potencial de crescimento, porque dotam a economia de uma tecnologia eficiente e de baixo custo (João, 2007), contribuindo para a competitividade, para o aumento do valor acrescentado, para a equidade no acesso às oportunidades e coesão territorial.

A produção de um serviço de transporte (objeto) para o sujeito também cria um sujeito para o serviço de transporte, determinando a forma de consumo e provocando no consumidor a necessidade de serviços de transporte (produto). O planeamento de serviços de transporte produz um objeto de consumo, a forma de consumo e o impulso para consumir.



Figura 1 - Organograma representativo da atividade económica.

⁸ Os agentes económicos, são as entidades individuais ou coletivas que se reúnem numa categoria, por desempenharem a mesma função na atividade económica. Consideram-se agentes económicos as famílias, as empresas, a administração pública e o resto do mundo.

3.2.1. Eficiência económica e a equidade

A eficiência económica é a ideia de que é impossível melhorar a situação de uma das partes sem impor um custo à outra (a quantidade ótima de cada serviço está a ser produzida e consumida). Para um produtor aumentar o lucro do serviço prestado, o consumidor pagará mais pela disponibilidade do mesmo serviço.

Na produção da quantidade e qualidade de um serviço existe sempre um consumidor ou simplesmente um contribuinte que paga por isso. Contudo, este princípio ignora a possibilidade de compensação (Bell, *et al.*, 2003), i. e., o preço que o consumidor estaria disposto a pagar por um serviço de transporte confortável, de alta velocidade e seguro, é provável que exista um benefício mútuo, uma compensação pelo custo do serviço.

A eficiência económica nos transportes pretende garantir a maximização do custo-benefício na disponibilidade dos recursos escassos. Esta abordagem não deve contemplar apenas o valor individual do atributo de cada viagem motorizada, mas sim, a globalidade dos viajantes independentemente dos seus interesses e do modo de transporte utilizado (Bell, *et al.*, 2003).

O elemento equidade integra a compensação atribuída à eficiência económica e as estratégias do sistema de transportes para garantir que os benefícios sejam razoavelmente distribuídos pela população, privilegiando uma discriminação positiva em relação às pessoas que vivem em áreas remotas, com dificuldades financeiras e com mobilidade reduzida.

As pessoas com mobilidade reduzida não são apenas as detentoras de deficiência permanente, mas sim um conjunto de pessoas com necessidades especiais, no qual fazem parte as pessoas com mobilidade condicionada, como as pessoas em cadeiras de rodas ou que não conseguem percorrer grandes distâncias, as pessoas com dificuldades sensoriais e as pessoas que em virtude do seu percurso de vida apresentam-se transitoriamente condicionadas, como as grávidas e algum tipo de lesão física. Percebe-se assim, que não se trata de um número residual de indivíduos e que todos a qualquer momento do ciclo de vida podem integrar este grupo.

A Constituição da República Portuguesa assegura todos os direitos e deveres fundamentais do cidadão. Todos os cidadãos têm a mesma dignidade social. Ninguém pode ser privilegiado, beneficiado, prejudicado, privado de qualquer direito ou isento de qualquer dever” (art.º 12º e 13º, (CRP, 2005). Constitui tarefa fundamental do Estado, a promoção do bem-estar, qualidade de vida e igualdade real entre os portugueses”, bem como, a efetivação dos direitos económicos, sociais, culturais e ambientais,

mediante a transformação e modernização das estruturas económicas e sociais, assim como, assegurar um correto ordenamento do território (art.º 9º, d) e e), (CRP, 2005).

Como complemento direto, a equidade também abarca e protege o aumento da acessibilidade, a proteção do meio ambiente e a segurança de todos os grupos intervenientes, afirmando-se como um elemento fundamental no planeamento do sistema de transportes.

3.3. Características da oferta de transporte

A oferta de transporte caracteriza-se como um serviço e não como um produto. Por conseguinte, não é possível armazená-lo ou utilizar apenas em períodos de maior procura (Ortúzar & Willumsen, 2001). Um serviço de transporte deve ser consumido quando e onde é produzido, caso contrário, o benefício é perdido (custo). Assim, é muito importante prever a procura com a maior precisão possível, para otimizar e maximizar recursos, adaptando a oferta (produção da necessidade) dos serviços de transporte à procura (satisfação das necessidades).

A característica funcional de um serviço de transportes requer ativos fixos⁹ e um conjunto de regras (e. g., código da estrada) que possibilita a circulação de pessoas e bens. Normalmente, as infraestruturas e os veículos pertencem a agentes económicos diferentes. Esta separação entre o construtor das infraestruturas e o fornecedor do serviço de transporte cria um conjunto complexo de interações entre autoridades governamentais (centrais e locais), empresas de construção, projetistas, operadores de transporte coletivos, viajantes, operadores de logística e o público em geral (Ortúzar & Willumsen, 2001).

A produção de infraestruturas para transportes é particularmente importante do ponto de vista logístico. As infraestruturas são essenciais para o desenvolvimento da rede de transportes e para garantir a coesão territorial e, como tal, devem existir em proporção e harmonia de modo a apoiar um desenvolvimento sustentável. O investimento em infraestruturas é elevado, portanto, é fundamental a gestão do espaço para um investimento gradual que complemente o aumento da procura, e. g., salvaguardar espaço nas vias lentas dos segmentos rodoviários de forma a garantir a introdução de uma segunda via contemporânea ao crescimento do tráfego de maneira a garantir a ajustabilidade das infraestruturas à procura e evitar investimentos precoces e o subaproveitamento.

⁹ Ativos fixos são os bem/equipamento com carácter duradouro (superior a um ano), adquiridos por uma empresa para o desenvolvimento da sua atividade.

As infraestruturas para transportes são dispendiosas, normalmente de grande envergadura e demoram diversos anos a serem planeadas e construídas. A duração do projeto implica uma série de perturbações, principalmente em áreas urbanas, como congestionamento, concentração de gases poluentes, de partículas e de ruído, que envolvem custos adicionais para os utilizadores e residentes.

O imposto sobre veículos (ISV) novos, o imposto único de circulação (IUC) e o imposto sobre produtos petrolíferos (ISP), são uma aproximação à cobrança pela disponibilidade de infraestruturas, nomeadamente as pertencentes à empresa do Estado, Infraestruturas de Portugal. As autoestradas pertencem, maioritariamente, a concessionárias adquiridas através de PPP, produzindo um custo direto na utilização. As ex-SCUT (sem custos para os utilizadores), introduzidas em 1997, deixaram, em 2011, de ter os custos totalmente suportados pelo Estado (apoio para garantir a coesão territorial) para serem cobradas eletronicamente a todos os utentes. A rede ferroviária, desde 2016, através da privatização da CP carga, adquirida pela empresa MSC Rail, passou a ter um fornecedor de serviços de transporte de mercadorias privado, contudo, grande parte dos veículos que frequentem as linhas ferroviárias pertencer ao Estado e são geridas essencialmente com o valor dos impostos dos contribuintes.

No entanto, nos custos tributados pela circulação, não são descontados os custos com o congestionamento, com as externalidades ou com outros efeitos colaterais associados à produção de serviços de transporte, como os sinistros, poluição e fragmentação ambiental.

Após a conclusão de um projeto, é fundamental uma monitorização que garanta a conservação e reabilitação dos padrões de qualidade mínimos das infraestruturas do sistema de transportes. A monitorização é preponderante para a redução da sinistralidade, que em conjunto com a educação comportamental dos condutores e a existência de um parque motorizado em indispensáveis condições de utilização permite um combate ao flagelo socioeconómico, inaceitável, na perda de vidas e destruição de meios familiares e outros custos diretos, como as perdas de produção, a reposição da propriedade, os custos com os serviços de socorro e emergência, hospitalares, policiais e de seguros.

O sistema de transportes é essencial para o desenvolvimento socioeconómico. A interiorização dos custos intrínsecos, por parte dos *stakeholders* e utentes, pode auxiliar na tomada de decisão e melhorar a disponibilidade para a procura de modos alternativos de transporte, e assim, maximizar a utilização dos recursos escassos e criar um equilíbrio entre a oferta e a procura nos serviços de transporte.

3.4. Características da procura de transporte

A procura por serviços de transporte é altamente distinta. Existem diversos tipos de procura específica para diferentes modos de transporte, para cada hora do dia ou dia da semana, por motivo da viagem, tipo de mercadoria, importância da velocidade e da frequência. Um serviço de transporte, sem os correspondentes atributos, diferentes para cada tipo de requisição, é desnecessário. Um bom sistema de transportes aumenta o acesso às oportunidades e promove o desenvolvimento económico. Um sistema fortemente congestionado ou mal conectado restringe as opções e limita o desenvolvimento económico e social. A procura de transporte está subjacente em requisições específicas. As pessoas viajam para satisfazer necessidades (trabalho, lazer, saúde) no destino.

Para entender a procura por transporte é necessário compreender como as infraestruturas e as atividades económicas, em contextos urbanos e regional, se dispõem no espaço físico. O tratamento explícito do espaço é inevitável e altamente desejável para resolver as lacunas detetadas (Ortúzar & Willumsen, 2001).

A oferta e a procura de transporte têm elementos dinâmicos muito fortes. Boa parte da procura de transporte está concentrada em algumas horas do dia, principalmente nas áreas urbanas, onde a maior parte do congestionamento ocorre durante períodos de pico específicos. Uma rede de transportes pode reagir bem com a procura média de viagens, em uma determinada área, mas falhar nos períodos de pico. Existem várias técnicas para tentar diminuir o pico no sistema de transportes, e. g., horários de trabalho flexíveis, horários de trabalho alargados e preços premium, no entanto, as variações da procura entre períodos de pico e períodos regulares continuam a ser o problema central no planeamento dos transportes (Bell, *et al.*, 2003).

O planeamento contemporâneo requer uma análise de uma série ampla de respostas a problemas e esquemas de transporte. Um produtor de viagens quando confrontado com o aumento do congestionamento pode responder com uma série de simples alterações que garantam a fluidez dos movimentos.

A curto prazo, pode proceder à troca de rota, no qual está incluída a escolha do local de estacionamento ou aproveitar outras ligações que inclui a combinação de vários serviços. Pode alterar o modo de transporte utilizado, a hora de partida para evitar a hora de ponta, o destino da viagem para uma área menos congestionada e alterar o dia ou combinar com outras atividades.

A longo prazo, ocorrem respostas complexas, como é o caso das alterações de emprego, da localização da área de residência, da escolha de áreas comerciais, etc. Todas estas soluções respondem parcialmente a alterações na acessibilidade oferecida pelo sistema de transportes.

3.4.1. Acessibilidade

O aumento geral da mobilidade e da procura de transporte rodoviário, com consequências no congestionamento, atrasos, sinistros e problemas ambientais, revelaram a necessidade do aumento dos fluxos de circulação sem ampliar as infraestruturas num território já densamente ocupado, a concretização de uma tomada de decisão orientada para as novas necessidades de transporte e uma clara utilização dos modelos de planeamento de transportes nas políticas de ordenamento do território para assegurar a sustentabilidade territorial.

O conhecimento global da acessibilidade de um território, i. e., a dificuldade em realizar uma viagem de um determinado local para outra área (Bell, *et al.*, 2003), permite revelar as desigualdades sociais no acesso da população às oportunidades, ao emprego, aos serviços e equipamentos e contribui para a definição integrada das políticas de transportes e de desenvolvimento territorial.

O modelo Redesenhar a Cidade, concilia a forma urbana, as políticas e a rede de transportes em uma perspetiva de redução das necessidades de deslocação, através da aproximação das origens e dos destinos de forma a reduzir substancialmente a utilização do veículo particular e aumentar a utilização de modos ativos e de transportes coletivos para todos os motivos de deslocação para garantir a acessibilidade com uma mobilidade mais sustentável.

Nos centros de aglomerados populacionais densos, existe uma relação entre a realidade física e o comportamento do indivíduo. As viagens dos indivíduos residentes numa determinada área urbana são tratadas como um indicador do grau de sustentabilidade de determinado território e indispensáveis para o sucesso da implementação e definição de uma determinada política de desenvolvimento local.

Nas áreas periféricas, que habitualmente se caracterizam como áreas de baixa densidade, com dispersão das atividades económicas, baixa conectividade da rede viária, por vezes mono funcionalidade económica, território fragmentado e com fraca acessibilidade tanto nos espaços residenciais como nos espaços públicos (Vale, 2010).

A acessibilidade é um dos indicadores que reflete simultaneamente as condições do espaço construído e as características da rede de transportes, os seus custos, velocidade de circulação e tempos de percurso, frequência e horário de funcionamento dos diversos modos de transportes e pode ser medida simplesmente através do tempo gasto em viagens ou usando o conceito do custo geral da viagem para obter uma combinação do custo do tempo e do custo monetário da viagem (Bell, *et al.*, 2003).

Uma redução no custo geral de uma viagem contribuirá para os objetivos do conceito de acessibilidade e para a eficiência económica da rede de transportes. A acessibilidade é um conceito preponderante no estudo dos padrões e dinâmicas da mobilidade, na projeção de infraestruturas e ajuda a identificar as oportunidades de deslocação, sejam elas realizadas ou não.

3.4.1.1. Produção de viagens

Para responder aos problemas da produção de viagens sensíveis às alterações na acessibilidade é necessária uma estrutura que contemple as ações de um determinado indivíduo, que no seu contexto familiar, articula um padrão diário de atividade fora de casa, organizadas em várias fases e materializadas num local específico, cada uma com um objetivo principal e condicionalmente com fins secundários no mesmo local. A realização destas viagens pressupõe um planeamento para gerir as diversas fases, em particular, decidir quais as localizações a visitar com regularidade e as que podem ficar associadas a um grafo de viagens mais longas.

Na modelação matemática pretende-se associar a medida de acessibilidade à equação de produção de viagens.

$$O_i^n = f(H_i^n, A_i^n) \quad (3.1)$$

Onde, o número total de viagens produzidas (O_i^n) na área i para o tipo de pessoa n (idosos, jovens, empregados) compreenda uma função (f) que considere as características do agregado familiar (H_i^n) e a medida de acessibilidade (A_i^n). As medidas típicas de acessibilidade assumem uma forma geral.

$$A_i^n = \sum_j f(E_j^n, C_{ij}) \quad (3.2)$$

Onde, E_j^n é a medida de atração da área j e C_{ij} é o custo geral da viagem entre a área i e a área j . O elemento custo pode ser considerado como distância, tempo ou unidades monetárias. O C_{ij} , agrega todos os principais atributos relacionados com a desutilidade de uma viagem. Normalmente, é uma função linear dos atributos da viagem ponderados por coeficientes que tentam representar a importância relativa e a percebida pelo viajante para cada modo de transporte (k) (omitido por simplicidade) (Ortúzar & Willumsen, 2001).

$$C_{ij} = a_1 t_{ij}^v + a_2 t_{ij}^w + a_3 t_{ij}^t + a_4 t_{nij} + a_5 F_{ij} + a_6 \phi_j + \delta \quad (3.3)$$

Onde t_{ij}^v , é o tempo de viagem de um veículo entre a área i e a área j , t_{ij}^w é o tempo de caminhada até à estação ou paragem, t_{ij}^t é o tempo de espera, t_{nij} é o tempo de troca de transporte, se existir, F_{ij} é a tarifa cobrada para viajar entre i e j , ϕ_j é um custo da utilização do terminal (normalmente o estacionamento) associado à viagem entre i e j , δ é uma penalidade modal, um parâmetro que representa todos os outros atributos não incluídos na medida generalizada até ao momento, e. g., a segurança, o conforto e a pertinência da viagem, $a_{1...6}$ são pesos indexados a cada elemento do custo com dimensões apropriadas para a conversão de todos os atributos em unidade comum, e. g., dinheiro ou tempo.

Analisando a equação (2.3), percebe-se então que quanto menor o valor da acessibilidade, menor o custo da viagem. A avaliação da acessibilidade, para além de considerar o tempo de deslocação entre origens (O_i) e destinos (D_j), é a variável fundamental na explicação da mobilidade e localização das famílias e das empresas e permite distinguir diferentes modos de transporte, tipologias de atividades e identificar as áreas onde a escolha do modo de transporte é uma imposição e não uma opção.

3.4.2. Escolha do modo de transporte

A escolha do modo de transporte é influenciada pelas características do produtor da viagem, do objetivo da viagem e das infraestruturas de transportes. Analiticamente, a segmentação do mercado em subgrupos relativamente homogêneos permite comparações e identificar padrões (Ortúzar & Willumsen, 2001).

Nas características do produtor da viagem é importante considerar a disponibilidade de viatura particular e de carta de condução, a estrutura do agregado familiar (casal jovem, casal com filhos, reformado, solteiro), o tipo de habitação (unifamiliar ou multifamiliar), o valor do rendimento e os hábitos do passado (necessidade do automóvel particular para o trabalho ou para levar os filhos à escola).

A escolha do modo é fortemente influenciada pelo objetivo da viagem. Se são trajetos regulares onde é possível integrar os transportes coletivos ou se são trajetos esporádicos de um dia qualquer da semana. A hora em que a viagem é realizada e compatibilidade com os horários dos transportes.

As características das infraestruturas de transportes, verificam-se quantitativamente, no tempo relativo da viagem, no veículo, nos tempos de espera e caminhada por cada modo, nos custos monetários relativos (tarifas, combustível e outros custos diretos), na disponibilidade e no custo do estacionamento (aproximação a C_{ij}), e qualitativamente, em fatores de difícil medição, como o conforto e pertinência da viagem, a confiabilidade e a regularidade, a proteção e a segurança (Ortúzar & Willumsen, 2001).

As viagens são feitas como resultado das escolhas dos viajantes, opções entre modos, horários alternativos e rotas alternativas de viagem. Algumas dessas opções são bastante restritas, e. g., se o viajante não tem veículo particular disponível ou se os serviços de transporte coletivo fornecem horários limitados. Subgrupos diferentes da população têm restrições diferentes e aqueles que têm um conjunto de opções muito restrito podem ser descritos como cativos de uma opção específica (Bell, *et al.*, 2003). Entre as opções disponíveis, em grupos com rendimento elevado, é provável que o tempo tenha um valor acrescentado, levando à preferência por opções rápidas e caras em vez de opções lentas e baratas.

Para analisar como a população ou respetivos subgrupos provavelmente perceberão a atratividade relativa das opções, o *logit model of individual choice* (LMIC) utiliza a atratividade relativa, de cada um de um conjunto de opções, para prever, para cada opção, a probabilidade de um indivíduo a escolher. Esta probabilidade individual pode ser associada a um grupo de pessoas, relativamente homogêneas, confrontadas com o mesmo conjunto de opções. A equação do LMIC, entre opções de k representa-se.

$$P_1 = (exp^{-\lambda c_1}) / (\sum_k exp^{-\lambda c_k}) \quad (3.4)$$

Onde, P_1 é a probabilidade de escolher a opção 1, c_k é uma medida do custo da utilização da opção k , e λ é um coeficiente de sensibilidade calibrado. Esta equação pode definir a escolha entre um qualquer número de alternativas independentes, não devendo haver uma correlação entre os subconjuntos de opções. Assim, é possível observar que sempre que uma opção tiver uma vantagem evidente, atrairá a maior parte das escolhas.

O LMIC pressupõe que os erros aleatórios são distribuídos independentemente para cada opção e, portanto, o modelo só pode ser utilizado para prever a escolha entre opções não correlacionadas. Para correlacionar um modo específico de transporte, e. g., o veículo particular com passageiros e o veículo particular apenas com o condutor, é necessário definir um custo composto.

$$CC = \frac{-1}{\lambda} \log(\sum_k \exp^{-\lambda c_k}) \quad (3.5)$$

Onde, CC é o custo composto, c_k é o custo das opções que estão a ser combinadas e λ é o coeficiente de sensibilidade usado para escolher entre as opções que estão a ser combinadas, i. e., da opção com custo mais baixo. Assim, no LMIC, pode-se avaliar a escolha entre, e. g., um comboio e um automóvel com custo composto, com uma percepção de custo integrado, onde o próprio coeficiente λ será baseado em diferentes comparações de custos.

Quando se verificar que nenhuma das opções k têm uma vantagem particular sobre as outras, é o valor do coeficiente λ que determina a atratividade relativa do modo de transporte (Figura 2). O coeficiente λ representa a sensibilidade da escolha para a variável custo. Como a percepção de um indivíduo sobre a atratividade de uma opção está associada a uma incerteza (\pm erro) relacionada com o custo geral (C_{ij}) de cada opção, levando à percepção errada e escolha pelo modo mais caro. A introdução do coeficiente λ limita o erro aleatório, portanto, quanto maior o valor de λ , maior a sensibilidade, atribuindo uma preferência à opção mais barata (Bell, *et al.*, 2003).

De forma a permitir a combinação de modos de transporte em diferentes rotas desde a origem até ao destino, é possível representar hierarquicamente o LMIC padrão precedente. O LMIC padrão representa a escolha entre modos alternativos, mas também, pode ser aplicado à escolha entre rotas alternativas, horários de partida, destinos, propriedade e frequências de viagem, ao realizar uma estrutura hierárquica, é possível reunir um conjunto de equações que representam todas estas opções de um conjunto de dados.

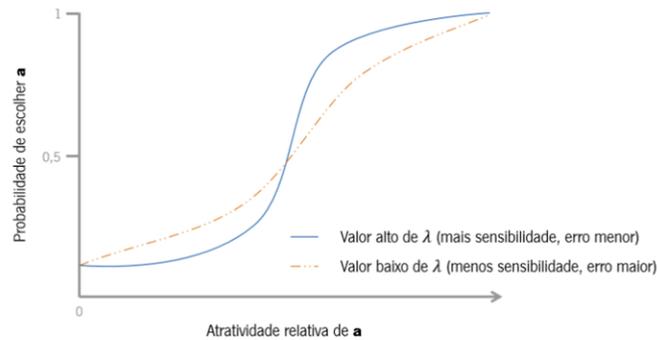


Figura 2 – Gráfico da sensibilidade na escolha para o valor λ do logit model of individual choice (Bell, *et al.*, 2003)

3.4.3. Congestionamento

No sistema de transportes, quanto mais utilizado um modo, uma rota ou um serviço, maior o impacto na sobrelotação, no congestionamento e nos atrasos. A restrição da capacidade de uma rede de mobilidade impossibilita o aumento da procura devido à falta de espaço e reduz a atratividade devido à sobrelotação e atrasos.

O congestionamento surge quando a procura excede a capacidade de uma infraestrutura e o tempo necessário para viajar através dela aumenta consideravelmente. Quanto mais utentes procuram uma infraestrutura ou um modo de transporte, maior é o custo adicional provocado pelo congestionamento, levando à troca voluntária de opção. Este fenómeno verifica-se, e. g., na escolha entre transportes coletivos concorrentes, horários de entrada e saída no local de trabalho, na escolha do supermercado ou do estacionamento (Ortúzar & Willumsen, 2001).

O panorama atual do sistema de transportes apresenta um carácter insustentável. Para além da dependência energética de derivados de petróleo (90 %) e dos custos sociais com os acidentes e o ruído, se o estado atual se mantiver, perspectiva-se que os custos do congestionamento agravar-se-ão 50 %, entre o presente e 2050 (Comissão Europeia, 2011). Nos Estados Unidos da América, o Texas Transportation Institute, constatou que os passageiros gastam aproximadamente 42 horas por ano parados no trânsito, os condutores desperdiçam mais de 3 mil milhões de litros de combustível por ano, correspondendo a um valor total de 160 mil milhões de dólares, o equivalente a 960 dólares por ano que cada passageiro perde devido ao congestionamento. O congestionamento é um problema sério, especialmente na rede rodoviária e no espaço aéreo, sendo uma das principais características associadas à disponibilidade de transporte e consequências na acessibilidade a nível local e regional.

Na análise, o tráfego é tratado como tempo de viagem por unidade de distância em relação ao fluxo ou simplesmente por custo-fluxo ($C(V)$).

A relação velocidade-fluxo verifica-se quando, um fluxo aumenta, a velocidade tende a diminuir após um período inicial de pouca alteração e, quando o fluxo se aproxima da capacidade máxima, a taxa de redução da velocidade aumenta (Ortúzar & Willumsen, 2001).

O custo de um segmento de estrada pode estar associado à globalidade dos fluxos de trânsito que integram a rede e interagem com determinada via (cruzamentos e rotundas em áreas urbanas) ou simplificado em vias com função de circulação (supraconcelhias). Os atrasos não dependem exclusivamente da própria via, particularmente nas redes urbanas densas, e a inclusão de um veículo, em percursos com fluxos elevados, gera mais atraso para todos os utentes, do que, em percursos com fluxos baixos. São os efeitos externos do congestionamento, percebidos por outros, mas não pelo condutor que os originou. Assim, a relação custo-fluxo ($C_a(V_a)$) deve utilizar parâmetros como a velocidade em regime livre, a capacidade da via e o número de cruzamentos por quilómetro.

O custo operacional total de um segmento rodoviário verifica-se através do fluxo de determinado via e a relação entre o custo-fluxo de determinado via. O custo marginal (C_{ma}), i. e., a contribuição para o custo total feita pela adição marginal de um veículo, verifica-se na equação subsequente.

$$C_{ma} = \frac{\partial[V_a C_a(V_a)]}{\partial V_a} = C_a(V_a) + V_a \frac{\partial C_a(V_a)}{\partial V_a} \quad (3.6)$$

Onde, V_a é o fluxo na via a e o $C_a(V_a)$ é a relação custo-fluxo da via a . O ∂ é uma derivada parcial que assume que a outra variável se mantém constante durante a operação. Do lado direito da equação encontra-se o termo correspondente ao custo médio e o termo da contribuição para o atraso do tráfego feito pelo veículo adicionado. É o efeito externo e corresponde aos custos adicionais incorridos por outros utilizadores da via quando um novo veículo é adicionado.

Para modelar as relações custo-fluxo, e pressupondo que a recolha de dados deverá privilegiar a localização adequada para evitar erros de observação, nomeadamente através da duração do período de observação e da atenção a locais com afinamento de tráfego.

$$t = t_0 \exp(V / Q_s) \quad (3.7)$$

Onde, t é o tempo de viagem por unidade de distância, t_0 é o tempo de viagem por unidade de distância sob condições de regime livre, o V são todos os fluxos da rede e Q_s é o estado regular da capacidade da via (Bell, *et al.*, 2003).

3.4.3.1. Redução do congestionamento

Em termos gerais, o papel do planeamento dos transportes é garantir a satisfação das necessidades de determinada procura para efetuar os movimentos de pessoas e mercadorias com diferentes objetivos de viagem em diferentes períodos do dia e do ano através de diferentes modos de transporte e em função do nível de serviço oferecido pelas infraestruturas.

A velocidade é o principal indicador do nível de serviço, numa relação intrínseca com a influência da rapidez ou tempo da viagem, o tempo de espera e de caminhada no custo geral da viagem (C_{ij}). A procura está diretamente relacionada com o nível de serviço fornecido pelo sistema de transportes e com a distribuição das atividades económicas no espaço. Verifica-se o equilíbrio quando a capacidade de um serviço ou de uma infraestrutura proporciona um acesso rápido, confortável e seguro a uma determinada área. No entanto este equilíbrio requer uma monitorização da evolução no tempo e espaço, porque quando o sistema de transportes é eficaz, os utilizadores aumentam e as atratividades tendem a desenvolver-se aumentando as restrições ao fluxo livre de tráfego. Por exemplo, no círculo vicioso entre o automóvel e o transporte coletivo (Figura 3) a melhoria das condições financeiras dos agregados familiares estimula a compra para uso do veículo particular, retirando passageiros dos transportes públicos. Os operadores de serviços de transporte coletivo, com a redução da afluência, atuam através do aumento do valor das tarifas e/ou na redução da frequência. Esta medida reduz a atratividade dos transportes coletivos e induz a compra de veículo particular, levando ao aumento do volume de veículos e probabilidade de congestionamento. Portanto, é necessária a implementação de medidas, como impostos, subsídios e linhas prioritárias BUS, que permitam a quebra deste ciclo e devolvam a atratividade aos transportes coletivos (Bell, *et al.*, 2003).

Para reduzir o congestionamento existem diversas medidas que podem ser implementadas individualmente ou em conjunto, como reduzir a necessidade de realizar viagens através da promoção do teletrabalho e compras online, promover a programação de horas de partida e de rotas de viagem para evitar horas de ponta e locais congestionados e assim reduzir a duração da viagem, nomeadamente

através de TIC com informação em tempo real de incidentes na via e sinalização inteligente para gerir o tráfego de entrada nos principais eixos rodoviários, mas também, através de planos territoriais que concretizem a acessibilidade e promovam os serviços de proximidade.

Políticas que promovam o tráfego não motorizado através da criação de infraestruturas para peões e ciclistas, o transporte coletivos e o *car pooling*, através da discriminação positiva, i. e., implementação de vias BUS e sinalização prioritária, preços de bilhetes atrativos, criação de interfaces e de plataformas eletrónicas de *mobility as a service* (MaaS) para promoção das viagens multimodais e gestão eficiente do espaço, aplicação de restrições para veículos particulares, como estacionamento pago ou *congestion pricing*.

Em contexto urbano, a redução do congestionamento, mas também, das emissões de gases poluentes e do ruído, requer uma estratégia mista que englobe o ordenamento do território e os planos de gestão do sistema de transportes, os sistemas de tarifação, os serviços de transporte público eficientes, as infraestruturas para os modos de transporte ativos e as infraestruturas para o abastecimento ou recarga de veículos ecológicos. A utilização de veículos mais eficientes no consumo de recursos, certamente, não irá resolver o problema do congestionamento (Figura 3), contudo, a utilização de veículos elétricos puros, a hidrogénio ou híbridos pode contribuir para a redução das emissões de poluentes atmosféricos e do ruído, que incidindo sobre os veículos de mercadorias, possibilitaria a transferência de uma fração para o período noturno, atenuando o problema do congestionamento nos períodos de pico (Comissão Europeia, 2011).

Para obter a redistribuição dos recursos económicos que permita atingir o desenvolvimento sustentável, todos os custos sociais e ambientais devem ser integrados nas atividades económicas. A tarifação ambiental das infraestruturas, é uma solução para a interiorização, por parte dos utilizadores, do custo das externalidades locais, como a poluição atmosférica e o congestionamento. No caso dos transportes coletivos, a tarifação das infraestruturas rodoviárias é crescentemente considerada como um meio alternativo de gerar receitas e influenciar os padrões de tráfego (Bache, *et al.*, 2015).

A Lei de Bases do Ambiente define princípios para um desenvolvimento sustentável que obrigam à satisfação das necessidades do presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Entre eles encontra-se o princípio do poluidor-pagador, que obriga o responsável pela poluição a assumir os custos tanto da atividade poluente como da introdução de medidas internas de prevenção e controle necessárias para combater as ameaças e agressões ao ambiente. O princípio do utilizador-pagador que obriga o utente de serviços públicos a suportar os custos da utilização dos recursos, assim como, da

recuperação proporcional dos custos associados à sua disponibilização, visando a respetiva utilização racional (art.º 3º, a), d) e e), (LBA, 2014).

A integração das políticas ambientais nas políticas económicas pode proporcionar incentivos, tanto aos consumidores como aos produtores, para promover alterações estruturais no comportamento, para uma utilização mais eficiente dos recursos e para estimular a inovação. Podem gerar receitas extraordinárias ou, até mesmo, reduzir os impostos sobre o rendimento, o capital e a poupança. No entanto, a implementação obriga a um planeamento cuidadoso, informativo e gradual para minimizar os efeitos negativos, nomeadamente nos impostos sobre o setor energético que afetarão a competitividade, o emprego (sectores e regiões específicas) e os grupos com baixo rendimento (Bache, *et al.*, 2015).

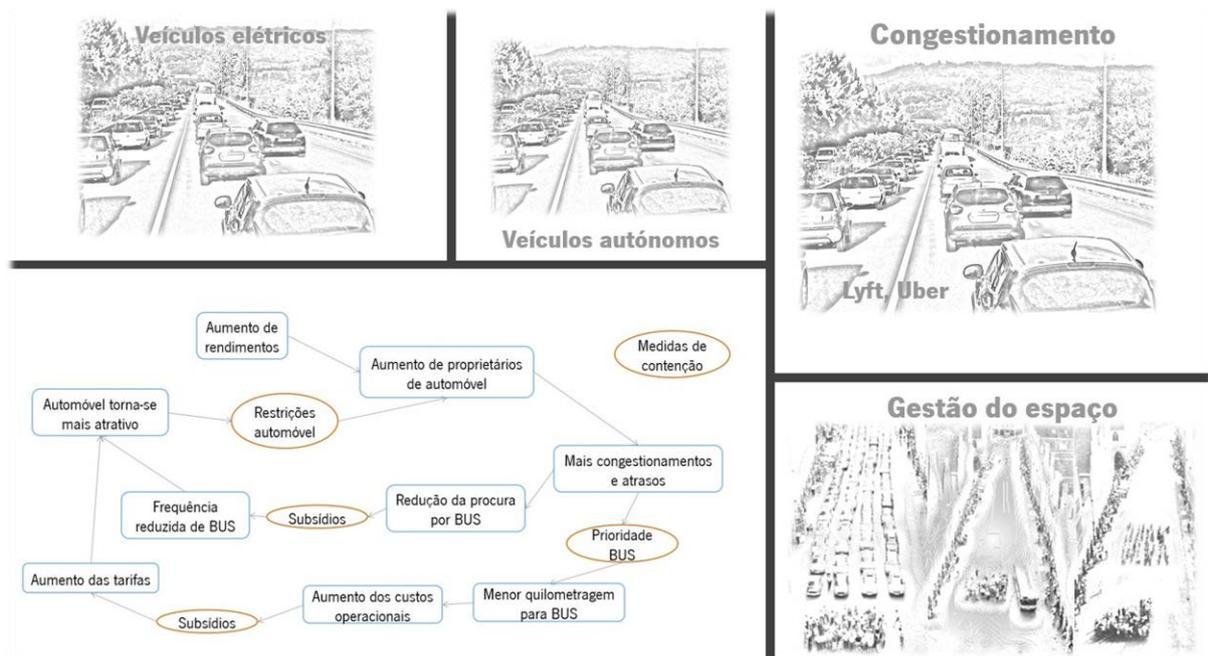


Figura 3 – Caracterização geral do efeito congestionamento e a obrigatoriedade da gestão eficiente do espaço densamente ocupado e medidas de contenção para o círculo vicioso entre o automóvel e o transporte coletivo (Bell, *et al.*, 2003).

3.4.3.2. Poluição sonora

Uma das consequências do congestionamento e do elevado e constante fluxo de tráfego motorizado nas vias rodoviárias urbanas, é a poluição sonora. A preservação da qualidade do ambiente urbano é fundamental para a prossecução dos objetivos de sustentabilidade e o ruído uma problemática que deve ser ponderada na tomada de decisão.

O som é qualquer variação de pressão atmosférica que o ouvido humano pode detetar, seja no ar, na água ou em qualquer outro meio de propagação (Valadas & Leite, 2004).

O ruído ambiente é um som externo indesejado ou prejudicial, criado por atividades humanas, incluindo o ruído emitido por meios de transporte, tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo e instalações utilizadas na atividade industrial (Blanes, *et al.*, 2019).

Os efeitos do ruído são difíceis de quantificar, dado que a tolerância dos indivíduos perante diferentes níveis ou tipos de ruído variar consideravelmente, no entanto, o ruído ambiente poder ter uma série de efeitos adversos diretos sobre as pessoas expostas, incluindo perturbações do sono, efeitos fisiológicos auditivos e não auditivos, fundamentalmente, cardiovasculares, interferências com a comunicação e incómodos de carácter geral. A exposição ao ruído ambiente, normalmente não provoca perda da audição, excetuando nos casos de exposição a níveis excepcionalmente elevados durante períodos longos. Estima-se que 17 % a 22 % (aproximadamente 80 milhões) da população da UE é exposta, durante o dia e no exterior, a níveis contínuos de ruído produzidos pelos meios de transporte, superiores aos níveis considerados como aceitáveis, acima dos 65 dB(A) (Livro Verde, 1996).

Em Portugal os valores limite de exposição são atribuídos em função da classificação de áreas mistas (comercio e serviços) e de áreas sensíveis (habitações, escolas e hospitais). As áreas mistas não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A) no período diurno, entardecer e noturno (Lden) e não pode ser superior a 55 dB(A) no período noturno (Ln). As áreas sensíveis não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 55 dB(A) no período Lden e superior a 45 dB(A) no período Ln (art.º 11º, nº 1, a) e b), (RGR, 2007).

O ruído dos transportes rodoviários é a fonte dominante, responsável por grande parte da população exposta a níveis de ruído superiores a 65 dB(A). O crescimento sucessivo do volume do tráfego rodoviário e do aumento de quilómetros percorridos promove o aumento significativo da exposição ao ruído ambiente. Em áreas urbanas, os valores extremos de ruído de tráfego não tendem a aumentar, mas o período de exposição a ruídos elevados está a aumentar, resultado do desenvolvimento económico que transporta para os períodos noturnos uma parte do tráfego, derivado de horários flexíveis e turnos de entrada e saída do local de trabalho, de operações logisticas e de serviços disponíveis 24 horas.

O tráfego aéreo abarca normas de certificação de ruído restritas e medidas técnicas de controlo do tráfego aéreo, como restrições de movimentos noturnos e controle de rotas de aterragem e de descolagem, que permitem uma gestão dos períodos de exposição (Livro Verde, 1996).

As emissões de ruído dos comboios tendem a diminuir, fenómeno associado à troca dos motores a diesel por motores elétricos nos comboios de passageiros, à introdução gradual de vias-férreas soldadas, em vez de rebitadas e à maior utilização de material circulante equipado com travões de disco.

A redução da exposição ao ruído ambiente é efetuada através da redução do ruído na fonte, proveniente de máquinas, de motores e do contacto entre os pneus e a camada de desgaste do pavimento. Portanto, é necessário reduzir a velocidade de circulação, o volume de tráfego e a utilização de equipamentos, mas também incentivos à compra de veículos elétricos puros e limitar a transmissão do ruído com recurso à construção de barreiras entre as fontes e as pessoas afetadas e redução do ruído no ponto de receção através de isolamento nos edifícios.

3.5. Influência dos custos na localização industrial

A teoria clássica da localização, procura definir os critérios de localização dos agentes económicos. Von Thunen (1826), Alfred Weber (1909), August Losch (1940) e Walter Isard (1956) evidenciam, de forma geral, que a decisão ótima da localização industrial fundamenta-se no custo do transporte.

Na teoria de Alfred Weber, a localização industrial depende da ponderação entre o custo dos transportes, do custo da mão-de-obra e de um fator económico de carácter geral. Os fatores regionais explicam a escolha da localização entre regiões e o fator de carácter geral explica a concentração ou dispersão da indústria em uma dada região.

A análise considera que em um cenário em que a localização da matéria-prima e do mercado consumidor é conhecida e a mão-de-obra pode ser encontrada em oferta ilimitada a uma taxa de salários determinada em várias localizações, existe uma proporcionalidade entre a distância percorrida e o custo do transporte. No entanto esta análise apenas considera uma qualidade de matéria-prima localizada no processo produtivo e apenas um produto único obtido que é vendido totalmente para um mercado com diferente localização da matéria-prima.

Verifica-se que o custo será nulo se a localização escolhida para a indústria for a própria fonte da matéria-prima e será crescente à medida que a distância aumenta. Da mesma forma, o custo da distribuição dos produtos será máximo quando a indústria se localiza junto à fonte de matéria-prima e decrescerá até se anular, à medida que a localização escolhida se afasta e se aproxima do mercado consumidor (Moura, 1952).

Comparando possíveis localizações no espaço, do ponto de vista dos transportes é evidente que supostos custos de transporte são proporcionais às distâncias, no entanto, nos processos produtivos não existe sempre apenas uma única matéria-prima localizada, não se vende apenas para um único mercado e são inúmeros os processos produtivos em que se criam diversos objetos e se realizam processos de produção em conjunto com outras empresas.

August Losch, salienta as vantagens que se pode encontrar nas localizações junto dos nós de comunicação (entroncamento/ramificação) e nos locais de transbordo obrigatório. É por vezes necessário, ao longo de um percurso, fazer o transbordo de uma mercadoria. Tanto a localização do processo produtivo junto da matéria-prima como junto do mercado, obrigam a um transbordo. O transbordo equivale a uma despesa adicional de carga e descarga e por vezes de armazenamento. Só é possível evitar esta despesa através da localização da produção no próprio local de transbordo, portanto, particularmente oneroso para os produtos de baixo valor e pesados. A cada localização, corresponde um custo de transporte que depende do preço por unidade de peso e da distância de cada um dos materiais, proporcionais ao peso, ao valor, fragilidade e volume transportado.

Os entroncamentos são de especial importância para a localização das indústrias, pois, é neles que entram em contacto com diferentes sistemas de transporte e encontram diversas empresas a explorar o mesmo serviço e modo de transporte, originando vantagens de concorrência através de tarifas favoráveis.

Assim, na hipótese de o custo dos transportes variar proporcionalmente à distância, a localização preferida será sempre em um entroncamento, a não ser que o peso ideal de algum dos materiais, matéria-prima ou produto, seja superior à soma dos pesos ideais (Moura, 1952).

3.5.1. Logística urbana

A logística é o processo de planeamento, implementação e controle do fluxo, armazenamento eficiente e eficaz de bens, serviços e informações relacionadas desde o ponto de origem ao ponto de consumo (Wood, 2020).

A integração do setor dos transportes nos processos logísticos agrupa o conceito de lugar, na definição da origem e destino da mercadoria transportada e o conceito de tempo representado através da rapidez da viagem.

A logística urbana ou de *last mile* assegura a entrega e recolha de mercadorias nas quantidades exatas, nos locais necessários e no momento pretendido, bem como, quando necessário, o seu armazenamento temporário em espaço urbano, para a satisfação das necessidades dos agentes económicos a um custo conveniente (Botelho, *et al.*, 2019). É uma função de suporte à atividade dos aglomerados populacionais, com impactos diretos na qualidade, variedade e quantidade de stocks existentes, que se reflete na competitividade e no custo final dos produtos.

O processo logístico está associado a externalidades relacionadas com a emissão de gases de efeito estufa (GEE), de poluentes e congestionamento. Localmente, há emissão de ruído, de partículas e há competição pelo espaço público, concretizada através de veículos com dimensões desajustadas ao espaço urbano e estacionamento irregulares que agravam as condicionantes ao estacionamento e interferem diretamente no fluxo do tráfego e na livre circulação dos peões (tráfego motorizado e não motorizado), com repercussões na segurança e na qualidade de vida (Botelho, *et al.*, 2019).

O crescimento, dinamismo e densificação indiscutível dos aglomerados populacionais, contemporâneo da integração do conceito de *smart city*, agregam o conceito de sustentabilidade e as aliadas e indissociáveis novas tecnologias, na procura de um elevado nível de eficiência de serviço para auxiliar a competitividade e garantir o crescimento económico.

A logística urbana do passado, caracterizada por operações de maior volume unitário, evoluiu para as entregas fragmentadas oriundas de canais de comércio eletrónico que tendem a oferecer serviços de entregas com prazos reduzidos, no qual, está associada a inerente necessidade de operações de devolução¹⁰. Estas entregas são efetuadas por diversos modos de transportes que frequentam as vias em períodos regulares ou de pico e o que tradicionalmente era considerado como limitações e restrições para a contenção da circulação rodoviária em períodos ou áreas mais sensíveis, hoje carece de ajustamento para responder à crescente necessidade de abastecimento e dinâmicas das atividades económicas.

Para a resolução deste paradigma é necessária uma logística *smart*, com disponibilidade de informação adequada e em tempo real para realizar o planeamento e a otimização do transporte urbano em horários fora dos picos. A gestão logística pode ser efetuada através de protocolo de entregas noturnas, estímulo aos *stakeholders* para encontrar soluções cooperativas para o desenvolvimento do ambiente individual urbano e a integração de plataformas de logística de proximidade que permitam reorganizar as mercadorias de diversas proveniências e efetuar o transbordo dos veículos pesados para

¹⁰ Incluem-se também entre os fluxos logísticos urbanos, os fluxos inversos relacionados com devoluções comerciais ou com resíduos sólidos urbanos, incluindo os de construção e demolição.

veículos ecológicos, como veículos elétricos ligeiros, scooters, *cargobikes* e trolleys elétricos adequados para a distribuição no espaço urbano.

Assim, é possível promover a melhoria na taxa de ocupação de carga nas viaturas, a inexistência de emissões de poluentes atmosféricos e a redução substancial do ruído, a atenuação do problema do congestionamento nas horas de ponta e a redução do tempo de ocupação do espaço público. Contudo, o planeamento do novo espaço de proximidade deverá considerar o aumento do tráfego local e consequente harmonização das infraestruturas, o imprescindível consenso entre *stakeholders* e a constatação de que um serviço adicional comporta novos custos operacionais que devem ser otimizados de forma a garantir o preço mais conveniente para o consumidor (Botelho, *et al.*, 2019).

Para a efetivação de uma logística *smart* é essencial a aplicação das novas tecnologias de comunicação para a interligação entre distribuidores e estabelecimentos locais. Entre outros, a introdução da inteligência artificial e da realidade aumentada para o planeamento de rotas, gestão da procura e monitorização em tempo real de operações de entrega e devolução, mas também, com a provável implementação da automação, como veículos autónomos, drones e robots, permitem a otimização de recursos e maximização dos serviços de proximidade, onde os métodos e os modelos de recolha e tratamento dos dados devem ser adequados à especificidade e diversidade da procura (Botelho, *et al.*, 2019).

No entanto, é necessária uma monitorização da segurança para prever ou interagir com os riscos inerentes. O incremento de áreas pedonais, ciclovias e outras modalidades de mobilidade urbana, aumentam os riscos de interseção com a circulação de veículos de mercadorias. A utilização de novos meios autónomos, quer no transporte de passageiros quer no transporte de mercadorias, tornam os impactes da atividade logística, no espaço vivo que é a cidade, uma preocupação crescente para as autoridades, administração pública e *stakeholders*.

3.6. Modos ativos de transporte

A promoção da utilização de meios de transporte mais sustentáveis para os percursos do quotidiano constitui um dos principais desafios da atualidade e um paradigma da mobilidade que pretende aliar o desenvolvimento económico e a acessibilidade dos espaços das cidades e subúrbios com a qualidade

de vida, através da redução do sedentarismo, da defesa do meio ambiente e da redução da dependência energética.

Os principais benefícios na utilização de modos ativos, designadamente a bicicleta, passam por promover uma maior eficiência do sistema de transportes, onde a bicicleta constitui a opção de mobilidade mais rápida, eficiente e ajustada a deslocações em trajetos pequenos e congestionados, o baixo custo de aquisição dos veículos, de manutenção das infraestruturas e a significativa contribuição para a redução dos índices de ruído e poluição atmosférica.

A procura por infraestruturas para peões e bicicletas ou tráfego não motorizado é influenciada por diversos fatores socioeconómicos, relacionados com as características das classes sociais, dos grupos etários e a influência das tradições e costumes culturais locais e, influenciada por fatores físicos associados a áreas com relevo e declives topográficos elevados, preteridas, principalmente pelos ciclistas, devido ao desgaste físico (Seabra, *et al.*, 2012).

Um bom exemplo da influência dos fatores físicos é a planície típica do litoral noroeste de Portugal continental, onde é recorrente a presença das famosas bicicletas pasteiras no alpendre de uma qualquer habitação, normalmente, pertencente a famílias de pescadores e agricultores que utilizam a bicicleta para as deslocações de curta distância (média de 3 Km) entre os campos agrícolas, mercados locais e as atividades marítimo portuárias. Tradição associada à classe baixa, que progressivamente, com o desenvolvimento económico e tecnológico, encontra nos tratores agrícolas um substituto multifacetado no auxílio fundamental na preparação dos solos para o cultivo, recolha do sargaço na maré baixa, reboque dos barcos de pesca e para o transporte do quotidiano. Na mesma área de residência, famílias com atividades económicas no setor terciário, normalmente utilizam veículos motorizados, motociclo ou automóvel, para as deslocações do quotidiano.

Quando o consumo emerge do seu primitivo carácter natural, imediato e tosco, se permanecer neste estágio, resulta do facto de a produção não ter também ultrapassado o seu estágio natural, primitivo e tosco. O objeto de arte e analogamente, qualquer produto, cria um público sensível à arte e capaz de fruição estética. Assim, a produção não cria só um objeto para o sujeito, cria também um sujeito para o objeto, fornecendo-lhe a sua matéria, determinando o modo de consumo, provocando no consumidor a necessidade de produtos que ela criou originariamente como objetos. Por conseguinte, produz o objeto de consumo, o modo de consumo e o impulso para consumir (Marx, 1859).

Transpondo o conceito económico para o espaço físico, procura-se planear uma ocupação do solo com disponibilidade de infraestruturas que concretizem a segregação modal com conforto e segurança para as práticas sociais da mobilidade de curta distância e que influencie a procura, em particular da

população economicamente inativa (jovens e idosos), mas também, a população economicamente ativa com emprego de proximidade.

Dando como exemplo o concelho de Guimarães, que apresenta uma reduzida tradição na utilização de bicicletas, o edifício do agrupamento de escolas Santos Simões, na freguesia de Mesão Frio, beneficia da presença da ecopista nas imediações. A ecopista estabelece ligação entre o concelho de Guimarães e o de Fafe e possibilita a mobilidade da população local, com incidência nos alunos da escola Santos Simões que beneficiam de uma infraestrutura com todos os pressupostos de segurança para mais uma opção de mobilidade, produzindo assim, novas rotinas e alteração de mentalidades nos jovens de hoje, que transmitirão hábitos aos jovens de amanhã. Observa-se um exemplo de planeamento que criou um produto, em um local com abundância de potenciais consumidores e equipou o espaço com infraestruturas adequadas, que influenciam a decisão na opção de troca de modo de transporte da população local.

De facto, a bicicleta apresenta fatores incontornáveis que abarcam alguns dos dezassete Objetivos Globais¹¹ para o desenvolvimento sustentável estabelecidos pela Assembleia Geral das Nações Unidas.

Em erradicar a pobreza (1) e parcerias para o desenvolvimento (17), a bicicleta constitui um meio de transporte acessível e simples, que permite o acesso à educação, empregos, mercados e atividades comunitárias em áreas urbanas e rurais. As organizações sociais e especialistas que trabalham na promoção do ciclismo em todo o mundo podem apoiar a parceria global para o desenvolvimento sustentável com informação qualificada e privilegiada para apoiar na plasmação de diretrizes em programas nacionais¹² e setoriais.

Permite uma vida saudável (3), através da atividade física, essenciais para a redução de doenças cardiovasculares, respiratórias e outros impactos negativos do estilo de vida sedentário.

Oferece a possibilidade imediata de mitigação das alterações climáticas (13), na descarbonização do sistema de transportes, na redução das emissões de partículas, de ruído ambiente, de consumo de energia, de congestionamento e conseqüente melhoria da qualidade do ar e do ambiente urbano com impacto no bem-estar físico, social e mental da população.

¹¹ Os dezassete Objetivos Globais para o desenvolvimento sustentável constitui, erradicar a pobreza (1), acabar com a fome (2), vida saudável (3), educação de qualidade (4), igualdade de género (5), água e saneamento (6), energia renovável (7), trabalho digno e crescimento económico (8), inovação e infraestruturas (9), reduzir as desigualdades (10), cidades e comunidades sustentáveis (11), produção e consumo sustentável (12), combater as alterações climáticas (13), oceanos mares e recursos marítimos (14), ecossistemas terrestres e biodiversidade (15), paz e justiça (16) e parcerias para o desenvolvimento (17).

¹² O programa nacional da política de ordenamento do território estabelece as opções estratégicas com relevância para a organização do território nacional, consubstancia o quadro de referência a considerar na elaboração dos demais programas e planos territoriais, define o quadro unitário para o desenvolvimento territorial integrado, harmonioso e sustentável do País, tendo em conta a identidade própria da sua diversidade regional e a sua inserção no espaço da União Europeia (art.º 30º e 31º,a), (RJGT, 2015).

No objetivo da energia renovável (7), a bicicleta oferece ao sistema de transportes a desejada eficiência energética e proporciona viagens intermodais, principalmente para os primeiros e últimos quilômetros em combinação com o transporte coletivo e sistemas logísticos.

Trabalho digno e crescimento económico (8) e produção e consumo sustentável (12), a produção de bicicletas, os serviços de transporte de lazer e turismo, como *bikesharing* ou serviços de micrologística de *last mile*, constituem uma oportunidade para o aumento significativo de atividades económicas criadoras de emprego, assim como, a produção, consumo e entrega de mercadorias de forma sustentável. As bicicletas apresentam vantagens económicas representadas na redução do congestionamento, na redução do consumo e dependência energética, na diminuição das despesas de saúde associadas à obesidade e ganhos no orçamento disponível das famílias proporcionados pelos menores custos diretos e indiretos associados ao veículo motorizado particular.

Inovação e infraestruturas (9), cidades e comunidades sustentáveis (11), a bicicleta permite mais uma opção para a substituição do transporte motorizado individual e a combinação da mobilidade ativa (caminhada e bicicleta) com o transporte coletivo, contribuindo para a redução dos gases poluentes, do congestionamento e promoção de hábitos de vida saudáveis. Um maior número de utilizadores de bicicleta permite um maior investimento em infraestruturas adequadas para a prática, o que permite a equidade no acesso e um sistema de transportes sustentável (ECF & WCA , 2020).

3.7. Serviços públicos de transporte

Nos países desenvolvidos existe um elevado número, com tendência para aumentar, de proprietários de veículos motorizados. Contudo, existem sempre pessoas que não têm acesso a viaturas particulares, nomeadamente a população economicamente inativa, criança, idosos, desempregados, pessoas com mobilidade reduzida ou devido a alguma eventualidade do momento, portanto, dependentes, de alguma forma, de transporte público para colmatar as necessidades de mobilidade (Ortúzar & Willumsen, 2001).

Os estilos de vida, os modelos de desenvolvimento e a gestão do espaço proporcionaram uma maior mobilidade no acesso às oportunidades de emprego, consumo, educação, saúde, lazer e entretenimento e, conseqüentemente, maior procura por serviços de transporte diversificados com multiplicidade de movimentos em variadas horas do dia.

Um aspeto importante do planeamento dos transportes na definição de origem (produção do serviço) e destino (através de atividades ou satisfação das necessidades) da viagem é a reciprocidade, que deve ser considerada em ampla perspectiva, com o planeamento e ordenamento do território, nomeadamente na projeção da localização das atividades, das densidades populacionais e das correspondentes infraestruturas de acessibilidade.

O principal objetivo do planeamento dos transportes é produzir um plano estratégico para o equilíbrio entre todos os meios de transporte disponíveis para satisfazer as necessidades de procura de todos os setores da sociedade (Ortúzar & Willumsen, 2001). Em áreas urbanas, o transporte é efetuado, principalmente, através de modos ativos, viatura particular e algum tipo de transporte coletivo de propriedade pública ou privada.

No planeamento do transporte público é fundamental conhecer a densidade (alta, média ou baixa) populacionais das áreas de origem e de destino das viagens para garantir a compatibilidade de serviço com as respetivas necessidades (Bell, *et al.*, 2003).

Em origens e destinos com altas densidades populacionais é possível implementar um transporte de alta capacidade com boas instalações de acesso e de saída, porque a quantidade de utilizadores existente permite a ocupação da capacidade das viaturas de transporte coletivo e a rentabilização do serviço.

Se as áreas de origem forem de média densidade populacional, independentemente da densidade populacional do destino, é necessário proceder à maximização da frequência do serviço de forma a garantir que os transportes coletivos ficam ocupados próximo da capacidade.

Os movimentos de baixas para altas densidades, são tipicamente para o local do emprego, pois, verifica-se uma baixa procura no espaço (origem) em contraste com a elevada atratividade (destino). Neste caso a viatura particular assume preferência, verificando-se a necessidade de garantir a acessibilidade para os transportes coletivos e a garantia de um serviço rápido e confortável. O planeamento dos transportes deve incentivar o utente através de horários e viaturas adaptadas à particularidade da procura e proporcionar flexibilidade de serviço ou *park-and-ride* ligado a um meio de transporte coletivo rápido, confiável e segregado, assim como, persuadir os proprietários para a trocar de opção de modo de transporte, que certamente só acontecerá, se existirem vantagens percebidas pelo indivíduo (Bell, *et al.*, 2003).

Com densidades mais baixas nas origens e destinos, o veículo particular é o meio mais eficaz para satisfazer os requisitos do viajante. No entanto, a população que não possui veículo privado e precisa de se deslocar necessita de transporte público, criando um nível de serviço e conseqüentemente um problema económico. O serviço de transportes coletivos, com origem em densidades baixas, é improvável

que seja particularmente eficiente (frequência do serviço), embora tenha de ser fornecido, reforçando a reciprocidade com o planeamento do território, resultado da necessidade de empreendimentos de alta e média densidade para a sustentabilidade do transporte público.

A redução das viagens no transporte público significa a redução das receitas das operadoras, que conseqüentemente reduzem a frequência do serviço e ou aumentam as tarifas, resultando na perda de passageiros e no aumento das viagens de veículo particular. O aumento do volume dos fluxos de tráfego aumenta a possibilidade de congestionamento e transforma as viagens de transporte coletivo, se as infraestruturas não forem reestruturadas de forma a estabelecer prioridade, em viagens mais lentas e pouco confiáveis, aumentando a preferência para viagens em veículo particular.

Os efeitos do aumento do congestionamento rodoviário incluem, não apenas a perda de produção económica, mas também, o aumento da poluição sonora, atmosférica e paisagística, desvio do tráfego para rotas alternativas e inadequadas (Bell, *et al.*, 2003), normalmente vias secundárias com função de acesso, aumento do tempo de viagem, insegurança, principalmente para peões e ciclistas, stress dos passageiros e condutores e redução da qualidade do serviço prestado.

Um dos graves problemas dos meios urbanos são os movimentos periféricos provenientes de baixas densidades que privilegiam a utilização do veículo privado. O encerramento de ramais ferroviários e serviços de transporte público rodoviário deficitário cria a necessidade de propriedade de ativos, por vezes, uma viatura para cada elemento do agregado familiar, para permitir a satisfação das necessidades de mobilidade, agravando o problema do congestionamento e do estacionamento nas cidades.

Para melhorar a atratividade dos transportes públicos é necessário, planejar rotas, de preferência sem necessidade de trasbordo, frequência de serviço confiáveis, para reduzir o tempo de espera dentro de horários programados e tempos de viagens competitivos com as viaturas particulares. Os veículos de transporte público devem ser confortáveis, limpos e acessíveis a pessoas com mobilidade reduzida, com assentos adequados com espaço para as pernas, lugares de pé para viagens em horas de ponta e níveis de ruído aceitáveis.

As estações e paragens devem ser projetadas para garantir a proteção de eventos climáticos, salvaguardar a atratividade paisagística, garantir a acessibilidade das infraestruturas envolventes, como habitações, estacionamento e transbordo de passageiros e disponibilizar informação em tempo real do serviço, como horários, tarifas e previsão de chegada e partida.

O transporte coletivo ferroviário e metropolitano não difere muito do transporte coletivo rodoviário, contudo, salienta-se que a implementação só é economicamente possível entre núcleos de origem e destino densos e ou com acessibilidade estrategicamente planeadas para assegurar a afluência de

passageiros. Trata-se de um sistema de transporte com veículos longos, com grande capacidade de passageiros, tipicamente inseridos em infraestruturas segregadas e dispendiosas que apresentam reduzidos fatores que justifiquem algum tipo de atraso nos horários programados (Bell, *et al.*, 2003).

As redes ferroviárias para veículos pesados, como a existente no ramal do concelho de Guimarães, são tipicamente para realizar serviços suburbanos e interurbanos, são segregados do tráfego rodoviário e detêm estações bem espaçadas, o que cria a necessidade de fornecer facilidades de acesso, como estacionamento e transporte coletivo rodoviário com horários compatíveis ou *park-and-ride*.

A sustentabilidade dos serviços ferroviários pesados convencionais requer, proximidade de altas densidades populacionais, gestão do espaço para implementação de acessibilidades e infraestruturas de apoio, como estacionamentos, que devem permitir um fluxo de tráfego regular nas horas de ponta, complementaridade com serviços de transportes coletivos rodoviários, preferencialmente com bilhete combinado, para efetuar a recolha e entrega de passageiros de ponto a ponto, garantir a qualidade de serviço e a segurança e, quando possível, a integração em plataformas multimodais para produzir mais opções e, conseqüentemente, mais utentes para viajar (Bell, *et al.*, 2003).

4. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E OS TRANSPORTES

As alterações climáticas apresentam-se como uma das maiores ameaças ambientais, sociais e económicas que o planeta Terra e a humanidade enfrentam na atualidade. Consistem em uma variação estatisticamente significativa da média e da variabilidade dos parâmetros que definem o clima e que persistem durante longos períodos, independentemente das origens naturais, antrópicas ou mistas. Medem-se através da diferença entre valores médios de períodos longos e pela variação da frequência de ocorrência de fenómenos extremos (IPCC, 2014).

O clima é um dos vetores determinantes da vida na Terra e as alterações climáticas, em maior ou menor escala, resultantes de causas naturais, como variações dos parâmetros orbitais, da atividade solar e da atividade vulcânica influenciam o clima terrestre. Apesar das incertezas, o atual conhecimento científico afirma que as atividades humanas influenciam o padrão e a velocidade das alterações climáticas e que é necessário atuar para garantir a indispensável preservação dos recursos naturais, a qualidade do ambiente e a vida humana na Terra.

Efetivamente, para enfrentar o problema das alterações climáticas existem, essencialmente, duas linhas de atuação, a mitigação e a adaptação. Enquanto a mitigação é o processo que visa reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera, a adaptação é o processo que procura minimizar os efeitos negativos dos impactos das alterações climáticas nos sistemas biofísicos e socioeconómicos.

4.1. Sistema Terra-atmosfera

O Sol é a fonte de energia que controla a circulação na atmosfera. Emite energia em forma de radiação eletromagnética, no qual, uma parte é interceptada pelo sistema Terra-atmosfera e convertida em outras formas de energia, como o calor e a energia cinética da circulação atmosférica, ressalvando, que a energia não pode ser criada ou destruída, apenas pode ser convertida (lei da conservação da energia). A distribuição da energia solar sobre a superfície da Terra não é homogênea, portanto, é responsável pelas correntes oceânicas e pelos ventos que transportam o calor dos trópicos para os polos, procurando atingir um balanço de energia.

O sistema Terra-atmosfera está constantemente a absorver radiação solar (ultravioleta) e a emitir a sua própria radiação (infravermelha) para o espaço. A longo prazo, a média das taxas de absorção e de emissão são aproximadamente iguais, de modo que, o sistema está muito próximo do equilíbrio radiativo. Aproximadamente 51 % da energia solar que chega ao topo da atmosfera atinge a crosta terrestre. A maior parte desta energia reflete no solo e irradia de volta para a atmosfera.

4.1.1. Espectro eletromagnético

Como a Terra tem uma temperatura superficial bastante inferior à do Sol, a radiação infravermelha tem um comprimento de onda maior que a radiação ultravioleta (inversamente proporcional).

A radiação eletromagnética pode ser considerada como um conjunto de ondas, elétricas e magnéticas, cuja velocidade (v) no vácuo é $v = 3 * 10^8$ m/s. As várias formas de radiação, caracterizadas pelo seu comprimento de onda, formam o espectro eletromagnético.

O comprimento de onda (α) é a distância entre cristas sucessivas ou a distância percorrida durante um período (T). A frequência (f) de onda (Hz) é o número de ondas completas (um ciclo) que passa por um dado ponto por unidade de tempo (m/s^{-1}).

Devido às diversas características das radiações, o espectro eletromagnético divide-se em diferentes intervalos (Figura 4).

As comunicações *wireless* de longo e de curto alcance assumem uma tarefa fundamental no futuro da mobilidade autónoma e conectada. As comunicações envolvem a transferência de uma quantidade massiva de dados para nuvens de armazenamento e processamento de *big data* que pode levar à sobrecarga da nuvem e saturação da largura de banda da rede (medida da capacidade de transmissão). Assim, nomeadamente o espectro de radiofrequência, 3 kHz ($3 * 10^3$) a 300 GHz ($3 * 10^{10}$), assume preponderância na promoção de uma utilização eficiente e contribuir para a compatibilização das diferentes tecnologias de comunicação existentes no mercado.

Duas tecnologias que estão em plena afirmação e que se pretende que contribuam para as comunicações de longo alcance de *vehicle-to-network* (V2N) do sistema de transportes, a 4G e a 5G (New Radio), que a EU já estabeleceu para a 4G as frequências dos 900 MHz e 1 800 MHz, tendo em vista a utilização de tecnologias adicionais, garantindo, ao mesmo tempo, a compatibilidade técnica com o Global System for Mobile Communications (GSM) e outros sistemas de banda larga *wireless* (Decisão

de Execução (UE), 2018) e para a 5G, harmonizou a frequências de 694 MHz - 790 MHz (700 MHz) para garantir a prestação de serviços de banda larga em áreas urbanas e em áreas rurais ou remotas de modo a assegurar o acesso e a conectividade, para o desenvolvimento de novos serviços digitais inovadores sem criar disparidades no acesso e proporcionar economias de escala (Decisão (UE), 2017).

Para as comunicações de curto alcance, a frequência globalmente harmonizada de 5,875 MHz - 5,905 MHz ou 5,9 GHz, assume especial importância para a conectividade *vehicle-to-vehicle* (V2V), *vehicle-to-infrastructure* (V2I) e *vehicle-to-pedestrian* (V2P), conhecido coletivamente como *vehicle-to-everything* (V2X), de aplicações relacionadas com a segurança no domínio dos sistemas de transporte inteligentes (STI)¹³ (Decisão de Execução (UE), 2020).

Assim, qualquer objeto em qualquer ambiente urbano pode comunicar com o *router* ou *gateway* mais próximo ou através de satélite para enviar dados para qualquer parte do mundo e nos locais mais remotos.

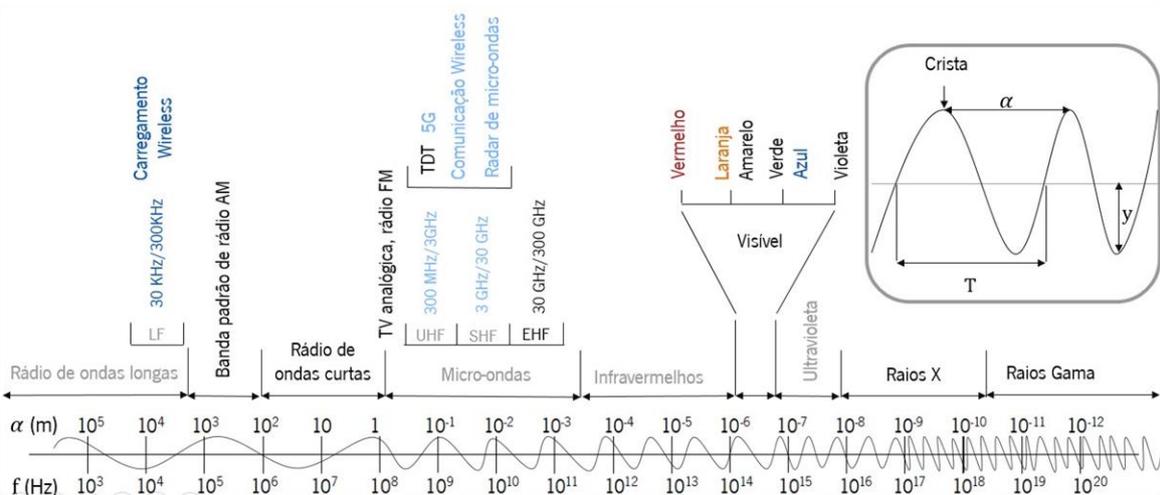


Figura 4 – Espectro eletromagnético

¹³ Os STI compreendem aos STI rodoviários e os STI ferroviários urbanos. Os STI rodoviários compreendem sistemas cooperativos baseados em comunicações em tempo real entre os veículos (automóveis, camiões, bicicletas, velocípedes a motor, elétricos, equipamento de construção, equipamento agrícola e equipamento de circulação pedonal e ciclístico) e o ambiente envolvente (outros veículos, infraestruturas etc.). Em alguns casos, é também possível que os STI rodoviários sejam utilizados fora de estrada (e. g., em zonas industriais, agrícolas ou de construção). No caso dos STI ferroviários urbanos, trata-se de sistemas de transportes públicos permanentemente comandados por, pelo menos, um sistema de controlo e gestão que se destinam a prestar serviços de transporte local, urbano e suburbano de passageiros separadamente do tráfego rodoviário e da circulação pedonal (Decisão de Execução (UE), 2020).

4.1.1.1. Faixas de radiação não ionizante

A radiação ultravioleta (UV) é a faixa de radiação não ionizante que fica ao lado da radiação ionizante¹⁴ no espectro eletromagnético. A radiação UV é categorizada como UVA (400-315 nm), UVB (315-280 nm) e UVC (280-100 nm). O sol é a principal fonte de UV, mas, todo o UVC do sol e grande parte do UVB são absorvidos pela atmosfera terrestre, portanto, na superfície da Terra a maior proporção de UV é UVA (mais de 90 %). No entanto, a exposição ao UVB é biologicamente muito mais relevante do que a UVA. A exposição da pele humana ao UVB, em pequenas quantidades, é responsável pela síntese da Vitamina D, essencial para a saúde óssea. No entanto, a exposição das células da pele a altos níveis de radiação UV tem efeitos nocivos à saúde. A curto prazo, a exposição intensa da pele pálida ao UVB causa inflamação ou queimaduras solares e imunossupressão local. A longo prazo causa rugas, envelhecimento precoce e cancro de pele (ICNIRP, 2004).

Campos Eletromagnéticos de Radiofrequência (CEM-RF) é o termo usado para descrever a parte do espectro eletromagnético que compreende a faixa de frequência de 100 kHz a 300 GHz. Dentro desta faixa de frequência, os campos elétricos e magnéticos, que juntos compõem os campos eletromagnéticos, são interrelacionados e considerados conjuntamente para medições. A exposição ao CEM-RF é geralmente medida em watts por metro quadrado (W/m^2) ou watts por kg (W/kg). Os CEM-RF são usados em várias tecnologias, mais amplamente para comunicações, como telemóveis, estações de rádio, emissoras de rádio e de televisão, aparelhos de vigilância e redes *wireless*, mas também, em equipamentos médicos (ressonância magnética), para o aquecimento (fornos de micro-ondas) e para transferência de energia *wireless* (e. g., Qi)¹⁵ (ICNIRP, 2020).

Os CEM-RF consistem em oscilações elétricas e campos magnéticos. O número de oscilações por segundo é referido como frequência (f) e descrito em unidades de hertz (Hz). À medida que o campo se propaga para longe de uma fonte, transfere energia da própria fonte descrita em unidades de watt (W), que é equivalente a joule (J) por unidade de tempo (t).

O único efeito comprovado da exposição ao CEM da RF relevante para a saúde e segurança humana é o aquecimento do tecido exposto, debelando qualquer evidencia de cancro, infertilidade, hipersensibilidade ou outros problemas de saúde. Os CEM-RF têm a capacidade de penetrar no corpo humano (quanto maior a frequência, menor a profundidade de penetração) induzindo um aumento de

¹⁴ Radiação ionizante é a radiação que possui energia suficiente para ionizar átomos e moléculas, i. e., é capaz de separar um elétron de um átomo ou molécula (raios X e raios gama).

¹⁵ Qi, é o logótipo para o padrão global de compatibilidade do *Wireless Power Consortium* para carregamento de baterias *wireless* (112 kHz a 205 kHz).

temperatura corporal e vibração de moléculas polares (e. g., H₂O) no interior, resultando em atrito e, portanto, calor. O corpo pode apresentar um pequeno aumento de temperatura, contudo dissipado, de forma semelhante ao do calor registado aquando da atividade física, pois, o corpo humano tem uma forte capacidade de regular a temperatura interna.

O aumento da temperatura está fortemente correlacionado com a taxa de absorção específica de energia (SAR) que depende de uma série de parâmetros, como a temperatura do corpo (°C), a densidade de massa do tecido (Kg m⁻³), a capacidade específica do calor (J Kg⁻¹) e o tempo de exposição. Exposições prolongadas a CEM-RF e o aumento da temperatura que a acompanha podem provocar sérios efeitos na saúde, febres e danos na pele (queimaduras).

As restrições básicas¹⁶ para os CEM-RF incidem sobre os valores atribuídos para as grandezas físicas de densidade de corrente (J) ¹⁷ (mA/m²), da SAR média para todo o corpo¹⁸ e SAR localizada, cabeça tronco e membros (W/kg) e a densidade de potência (S)¹⁹ (Wm²).

Quanto maior a frequência, menor a profundidade de penetração dos CEM-RF no corpo. Dando como exemplo a tecnologia 5G (*New Radio*) que pode utilizar frequências mais altas (>24 GHz) que as utilizadas atualmente (<4 GHz), a absorção desta energia, será nas camadas superficiais da pele, não constituindo qualquer dano para a saúde humana.

O termo *Low Frequency* (LF) descreve a faixa de frequência de 1,0 Hz a 100 kHz do espectro eletromagnético. Os campos LF estão principalmente relacionados com a distribuição e utilização de corrente alternada (AC). As linhas de energia são uma fonte de campos LF (50 ou 60 Hz). A exposição humana a LF gera campos elétricos e correntes dentro do corpo que podem interferir com os fluxos de corrente relacionados com o normal funcionamento biológico. No exterior do corpo, em níveis baixos, as interações passam despercebidas, no entanto, acima de um certo nível de exposição, provocam efeitos reversíveis em células excitáveis, como os fosfenos e, efeito de eletricidade estática ou uma sensação de formigamento. Esses efeitos ocorrem em diferentes limiares, dependendo da frequência do campo. Em

¹⁶ Restrições básicas, são as restrições da exposição aos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos que variam no tempo, baseadas diretamente em efeitos sobre a saúde já estabelecidos e em considerações biológicas. Dependendo da frequência do campo, as grandezas físicas utilizadas para especificar estas restrições são a densidade do fluxo magnético (B), a densidade da corrente (J), a taxa de absorção específica de energia (SAR) e a densidade de potência (S).

¹⁷ A densidade da corrente (J) define-se como a corrente que flui através de uma unidade de secção perpendicular à sua direção num volume condutor, como o corpo humano ou parte deste, expressa em amperes por metro quadrado (A/m²).

¹⁸ A taxa de absorção específica de energia (SAR), cuja média se calcula na totalidade do corpo ou em partes deste, define-se como o ritmo a que a energia é absorvida por unidade de massa de tecido do corpo, é expressa em watts por quilograma (W/kg). A SAR relativa a todo o corpo é uma medida amplamente aceite para relacionar os efeitos térmicos nocivos com a exposição à RF. Para além da SAR média relativa a todo o corpo, são necessários valores SAR locais para avaliar e limitar uma deposição excessiva de energia em pequenas partes do corpo, em consequência de condições de exposição especiais, e. g., a exposição à RF na gama baixa de MHz de uma pessoa ligada à terra ou as pessoas expostas num campo próximo de uma antena.

¹⁹ A densidade de potência (S) é a grandeza adequada utilizada para frequências muito elevadas, onde a profundidade de penetração no corpo é baixa. É a potência radiante que incide perpendicularmente a uma superfície, dividida pela área da superfície, é expressa em watts por metro quadrado (W/m²).

níveis mais altos, a LF causa efeitos cardiovasculares irreversíveis ou queimaduras na pele (ICNIRP, 2010). Os resultados mais recentes não demonstram efeitos negativos na saúde derivados da exposição prolongadas a LF de nível baixo, contudo, para evitar interações relevantes para a saúde humana é aconselhável limitar a exposição aos campos de LF. As restrições básicas para LF incidem sobre valores atribuídos para as grandezas físicas de densidade de fluxo magnético (B)²⁰ (mT) e a densidade de corrente (J) (mA/m²).

A necessidade de proteção da saúde pública contra os comprovados efeitos adversos da exposição a campos eletromagnéticos implica a fixação de restrições básicas e níveis de referência, formalizados pela International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), que posteriormente foram confirmadas pelo Comité científico diretor da Comissão, e aplicadas como recomendação do Conselho n° 1999/519/CE, de 12 de julho relativa à limitação da exposição da população aos campos eletromagnéticos (0 Hz - 300 GHz), adotados por Portugal através da Portaria n° 1421/2004 de 23 de novembro e regulada pela Autoridade Nacional de Comunicações (ANACOM).

Tabela 1 – Restrições básicas para campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos (0 Hz – 300 GHz)

Gama de frequência	Densidade de fluxo magnético (mT)	Densidade de corrente (mA/m ²)	SAR média para todo o corpo (W/kg)	SAR localizada (cabeça e tronco) (W/kg)	SAR localizada (membro) (W/kg)	Densidade de potência (W/m ²)
0 Hz	40					
> 0 Hz - 1 Hz		8				
1 Hz - 4 Hz		8/f				
4 Hz - 1000 Hz		2				
1000 Hz - 100 KHz		f/500				
100 KHz - 10 MHz		f/500	0,08	2	4	
10 MHz - 10 GHz			0,08	2	4	
10 GHz - 300 GHz						10

Fonte: Portaria n° 1421/2004 de 23 de novembro

²⁰ A densidade do fluxo magnético é uma grandeza vetorial (B) que dá origem a uma força que atua sobre cargas em movimento, é expressa em teslas (T). No espaço livre e em materiais biológicos, a densidade do fluxo magnético e a intensidade do campo magnético podem ser intercambiáveis, utilizando-se a equivalência $1 \text{ A m}^{-1} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}$.

4.2. Gases de efeito estufa

A radiação infravermelha tem um comprimento de onda superiores a 0,74 μm . Sendo a atmosfera eficiente a absorver a radiação no intervalo do espectro eletromagnético de 1 μm a 30 μm , significa que a atmosfera é um ótimo absorvente da radiação infravermelha, por conseguinte, é aquecida a partir da superfície terrestre.

Na atmosfera, nem toda a radiação térmica emitida pela Terra atinge o espaço exterior. Parte dela é absorvida e refletida de volta para a superfície terrestre pelas moléculas dos GEE²¹ e nuvens, o que resulta no denominado efeito estufa, com uma temperatura média global de cerca de 14°C, bem acima dos -19°C que seriam sentidos sem o efeito estufa natural.

Alguns dos GEE ocorrem naturalmente, como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), mas, devido à influência antrópica, a concentração na atmosfera aumentou significativamente nos últimos 250 anos. Outros GEE são totalmente resultado das atividades antrópicas, como o hidrofluorcarbonetos (HFC), perfluorcarbonos (PFC), hexafluoreto de enxofre (SF₆) e trifluoreto de azoto (NF₃). Cada um destes sete gases tem uma capacidade diferente de reter calor na atmosfera, o denominado *global warming potential*²² (GWP) (Tabela 2) e são todos pertencentes ao grupo dos *long lived greenhouse gases* (LLGHG) porque são quimicamente estáveis e persistem na atmosfera por escalas de tempo de uma década a séculos (IPCC, 2012).

O vapor de água e o CO₂ são os principais gases absorventes no intervalo de 1 μm a 30 μm do espectro eletromagnético. O vapor de água é o mais importante GEE, absorve aproximadamente cinco vezes mais radiação terrestre que todos os outros gases combinados e responde pelas temperaturas mais altas na baixa troposfera, onde está mais concentrado. Como não é produzido por seres humanos em quantidade significativa, não existe controle sobre a sua concentração na atmosfera.

²¹ Gases de efeito estufa (GEE), são gases presentes na atmosfera que absorvem e emitem radiação de onda longa. São presença natural na atmosfera e mantem a Terra, aproximadamente, 33°C mais quente, do que seria com a sua ausência.

²² O CO₂ é a unidade de referência, com a qual, todos os outros GEE são comparados e, portanto, tem um GWP de exatamente um valor. Um GWP é calculado ao longo de um intervalo de tempo específico (geralmente 20, 100 ou 500 anos), porque alguns gases permanecem por mais tempo que outros na atmosfera. Por exemplo, o GWP de 100 anos de CH₄ é 25, o que significa, se a mesma massa de CH₄ e de CO₂ fosse introduzida na atmosfera, o CH₄ iria reter 25 vezes mais calor do que o CO₂ ao longo dos próximos 100 anos.

4.2.1. O gás de referência

A prospeção antrópica do carbono para utilização como comburente e o posterior envio para a atmosfera através da combustão, altera o ciclo natural do carbono e conseqüentemente o equilíbrio do clima terrestre.

O GEE antrópico mais importante é o CO₂, representa aproximadamente 64 % do total das emissões de LLGHG para a atmosfera. O CO₂ não tem um tempo de vida específico, pois, integra um ciclo contínuo entre a atmosfera, os oceanos e a biosfera e, a sua remoção líquida da atmosfera envolve uma série de processos com diferentes escalas de tempo. É emitido principalmente como resultado da combustão de combustíveis fósseis, degradação florestal e produção de ferro e aço. Os oceanos e as florestas são os principais absorventes de CO₂ da atmosfera.

Assimilando o GWP, o CO₂ é o gás, com o qual, todos os outros gases são comparados. Em comparação, apesar do CH₄ ter um GWP 25 vezes superior ao do CO₂, apenas permanece na atmosfera durante aproximadamente 12 anos, enquanto o CO₂ permanece na atmosfera por centenas a milhares de anos. Assim, o CO₂ é o GEE de referência, porque mesmo que as emissões antrópicas parem, os efeitos irão refletir-se no planeta Terra por centenas a milhares de anos.

Adicionar mais GEE na atmosfera intensifica o efeito estufa e aquece o clima da Terra. Conforme a atmosfera aquece, a concentração de vapor de água atmosférico também aumenta, intensificando ainda mais o efeito estufa, que por sua vez, provoca mais aquecimento, levando a um adicional aumento de vapor de água, num ciclo de autorreforço. Esta retroalimentação do vapor de água incrementa o efeito estufa provocado pelo CO₂.

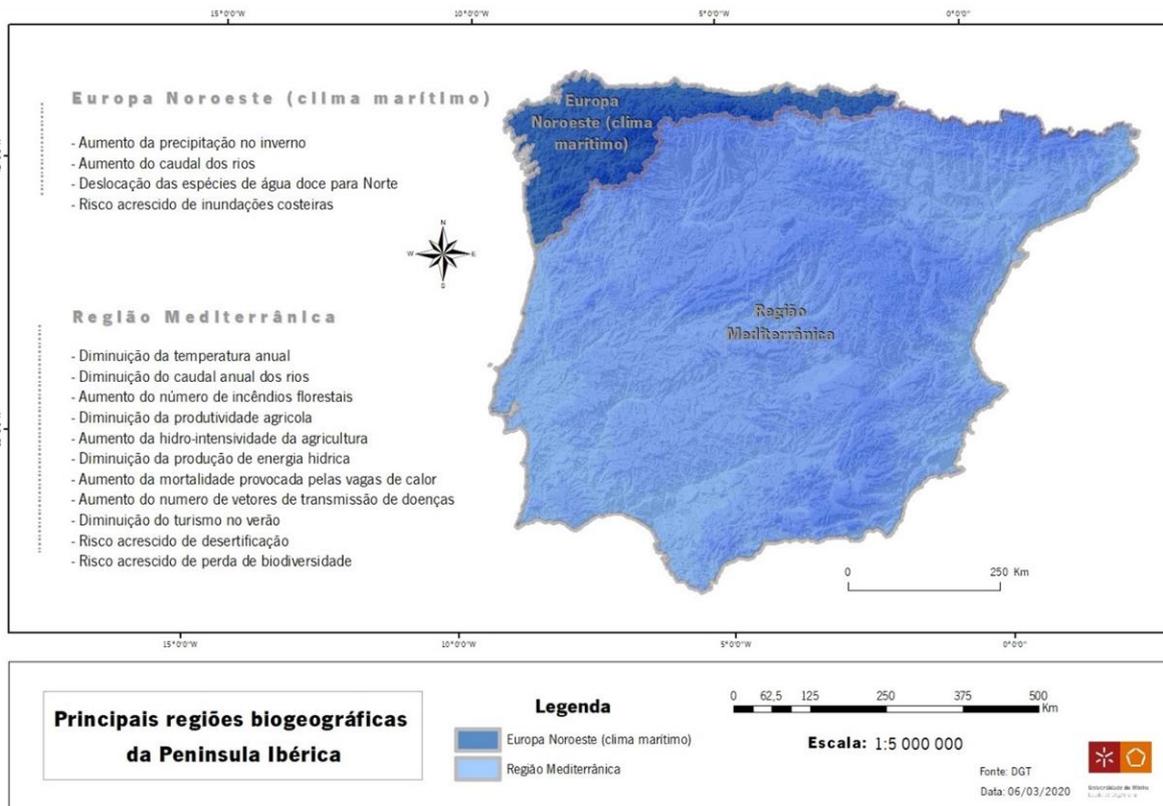
No final do séc. XXI, a alteração na temperatura da superfície terrestre provavelmente será superior a 1,5°C em relação aos níveis pré-industriais. Um aumento de 1,5°C a 2,5°C da temperatura média global acima dos níveis pré-industriais representa riscos significativos para muitos sistemas únicos e ameaçados, incluindo muitos *hotspots* de biodiversidade. Aproximadamente 20 % das espécies estarão em maior risco de extinção. Em termos de segurança alimentar e saúde humana, a produtividade das culturas de cereais, em latitudes baixas, diminuirá e a distribuição de alguns vetores de doenças, como os mosquitos que transmitem a malária, pode mudar.

As temperaturas mais elevadas dos rios e lagos criam condições para a incubação de algas e para a redução da quantidade de oxigênio dissolvido que, portanto, propensa ao desenvolvimento de nichos ecológicos inóspitos para as espécies endêmicas. O aquecimento acelera a perda de água pela superfície do solo e aumenta o potencial de incidência e severidade das secas.

A capacidade de retenção de água na atmosfera, aumenta com o aumento da temperatura. Como a precipitação advém do vapor de água armazenado na atmosfera, a intensidade, a frequência e o tipo de precipitação alteram e aumenta o risco de tempestades e nevascas.

O nível médio do mar continuará a subir globalmente durante o séc. XXI (0,26 m a 0,98 m) devido à intensificação do aquecimento dos oceanos e perda de glaciares. A cobertura de gelo do Mar Ártico continuará a encolher e a perder espessura. A acidificação (pH da superfície oceânica) aumenta, prejudicando as criaturas marinhas com estrutura calcária externa (corais) e as espécies que dependem delas para sobreviver.

As alterações climáticas determinam modificações na intensidade e incidência territorial dos riscos associados às cheias e inundações fluviais, aos galgamentos costeiros, às ondas de calor e à ocorrência de incêndios, com forte impacto em territórios de uso florestal, agravando em geral a sua frequência e intensidade. As áreas urbanas estarão numa situação mais vulnerável. Outros riscos ambientais, como a ocorrência de movimentos de massa em vertentes, podem ser agravados em severidade ou frequência. As alterações do clima são também um fator de injustiça social, com consequências sobre as desigualdades regionais. No território de Portugal continental os principais impactes, passados e projetados, encontram-se representados no Mapa 1 (Alcoforado, *et al.*, 2009).



Mapa 1 – Principais impactes projetados das alterações climáticas em Portugal continental (Alcoforado, *et al.*, 2009)

4.3. Impactes sociais das alterações climáticas

É provável que o desafio das alterações climáticas seja mais intenso e abrangente do que inicialmente previsto. A intensificação deve-se às projeções do crescimento demográfico mundial, que representam um aumento de 7,63 mil milhões de habitantes em 2018 para 8,55 mil milhões em 2030 e para 9,77 mil milhões em 2050 (UN, 2019). As regiões em vias de desenvolvimento são as que mais contribuem para o crescimento demográfico prevendo-se um aumento da população de 1,09 % no período de 2018-2030 e um aumento de 0,77 % no período de 2030-2050. Nas regiões desenvolvidas prevê-se um crescimento de 0,17 % no período de 2018-2030 e de 0,03 % no período de 2030-2050.

A população a residir em áreas rurais, tende para diminuir nas regiões desenvolvidas e nas regiões em vias de desenvolvimento, projetando-se 3,41 mil milhões de habitantes em 2018, 3,38 mil milhões em 2030 e 3,09 mil milhões em 2050 (UN, 2019).

A população a residir em áreas urbana, estima-se um aumento significativo em todas as regiões de, 4,22 mil milhões em 2018 para 5,17 mil milhões em 2030 e 6,68 mil milhões em 2050.

Globalmente verifica-se uma diferença elevada de população, estima-se que as regiões desenvolvidas apresentem 16,5 % da população mundial em 2018, com tendência a diminuir para 15,1 % em 2030 e 13,3 % em 2050. Nas regiões em vias de desenvolvimento, estima-se que a representatividade mundial seja de 83,5 % em 2018, com tendência a crescer para 84,9 % em 2030 e para 86,7 % em 2050 (UN, 2019).

Assim, o mundo precisará produzir aproximadamente mais 50 % de alimentos e mais 30 % de água potável ao mesmo tempo que mitiga e se adapta às alterações climáticas. O crescimento no tamanho e na densidade populacional, não é apenas quantitativo, mas também qualitativo, no sentido em que as tendências sociais globais revelam um aumento do consumo de carnes e laticínios, que, portanto, exigem um processo de produção intenso com mais cereais, mais água, mais fertilizantes e energia. Em 2030, a gestão da escassez de água e de alimentos (agrícolas e pesca) será um grande desafio. O abastecimento alimentar poderá estar comprometido (PNPOT, 2019).

Em Portugal estima-se que os atuais 56,6 % de habitantes a residir em áreas urbanas cresçam para 63,3 % em 2030 e para 75,4 % em 2050, desenvolvendo-se geograficamente para próximo do litoral (Barata, *et al.*, 2018). Demograficamente, segue a tendência dos países desenvolvidos com pirâmides etárias tipicamente alongadas no topo e estreitas na base, traduzindo-se em uma elevada esperança média de vida e conseqüente envelhecimento da população, aliado a um baixo número de nascimentos e conseqüente diminuição de população economicamente ativa. Estima-se que, a população diminua de

10,24 milhões de habitantes em 2020 para 10 milhões em 2030, com tendência para descer até aos 9,17 milhões em 2050. A população jovem diminuirá de 1,5 milhões em 2011 para 1,2 milhões em 2030, a população ativa, poderá diminuir de 7 milhões em 2011 para 5 milhões em 2030 e a população idosa poderá passar de 1,7 milhões em 2010 para 2,5 milhões em 2030 (INE, 2017).

Assimilando que o aumento demográfico será principalmente em países em vias de desenvolvimento, que tipicamente, apresentam emissões de GEE superiores. O rápido crescimento económico e demográfico de países como a Índia (7 % em 2018) e o Brasil (2,9 % em 2018), contribuirá significativamente para a manutenção dos valores médios das emissões de CO₂ globais (UN, 2019).

Os países em vias de desenvolvimento serão os responsáveis por 65 % do consumo mundial de energia, prevendo-se um aumento do consumo de 2,2 % por ano, enquanto nos países desenvolvidos, se prevê um aumento de 0,5 % por ano. Comprova-se assim, a necessidade da introdução dos conceitos científicos e tecnológicos de sustentabilidade, em equidade a nível mundial, para mitigar o problema do aquecimento global.

4.4. Análise de vulnerabilidades e gestão de riscos

A vulnerabilidade às alterações climáticas dos sistemas humanos, geofísicos, biológicos e socioeconómicos, difere substancialmente entre as regiões e entre as populações dentro das regiões. Expressa o grau de perda a que um determinado elemento está sujeito em face da ocorrência de um determinado fenómeno (Verde & Zêzere, 2007). É a propensão para um determinado sistema ser afetado negativamente (IPCC, 2014).

A vulnerabilidade abrange uma variedade de conceitos e elementos que dependem da maior ou menor exposição aos impactes previstos ou verificados e o grau em que um determinado meio ou sistema é afetado (sensibilidade) mediante a sua capacidade de adaptação.

Dando um exemplo de uma determinada área urbana em que as alterações climáticas estimulam o aparecimento de fenómenos extremos de precipitação (exposições) e, devido à localização geográfica em uma península próxima do litoral, caracterizada por baixos declives e por uma fraca drenagem de águas pluviais, aliada a uma elevada impermeabilização do solo (sensibilidade), determinará o impacto potencial, mediante a capacidade de adaptação e de resiliência das pessoas, atividades económicas,

infraestruturas e património cultural intrínseco. Assim, a vulnerabilidade é determinada pelos potenciais impactos das alterações climáticas e a capacidade dos sistemas naturais e humanos se adaptarem.

Os riscos das alterações climáticas não são unicamente circunstâncias geradas externamente ou alterações no sistema climático que as sociedades respondem, mas sim, o resultado de complexas interações entre sociedades, ecossistemas e perigos decorrentes das alterações climáticas.

O risco é a probabilidade que um determinado fenómeno ocorra em um local específico, sob determinadas circunstâncias e as suas consequências esperadas caracterizadas pelos impactes nos objetos afetados (Verde & Zêzere, 2007), reconhecendo o grau de perda e a diversidade dos valores (IPCC, 2014). O risco é aqui entendido como o produto entre a perigosidade e o dano potencial.

A perigosidade é a probabilidade de ocorrência de fenómenos potencialmente destruidores no tempo e no espaço, resultado do produto da probabilidade de ocorrência (cronologia) e a suscetibilidade, que expressa a propensão de uma dada área para ser afetada pelo fenómeno estudado.

O dano potencial é o produto entre a vulnerabilidade e o valor económico do elemento em risco, onde a vulnerabilidade expressa o grau de perda (muito ou pouco dano) a que um determinado elemento está sujeito em face da ocorrência do fenómeno tratado. O valor económico expressa o valor de mercado em euros dos elementos em risco, permite quantificar o investimento necessário para recuperar um elemento, em função da sua vulnerabilidade (Verde & Zêzere, 2007).

Dando como exemplo uma área urbana no nordeste de Portugal continental, localizada numa zona climática caracterizada pelo período de verão quente e seco, influenciado pelo vasto anfiteatro do Minho com frente para o Atlântico, que retêm os ventos húmidos marítimos e origina uma abundante precipitação (Gerês). Ao integrar o produto da suscetibilidade da região ao calor com a probabilidade de fenómenos extremos de seca prolongada, resultaria na perigosidade elevada para a saúde pública e de incêndios florestais nas periferias. Assimilando, um grau de perda (vulnerabilidade) devido à redução do valor das madeiras, das fatalidades sociais e do inevitável consumo elevado de recursos hídricos, resulta no dano potencial que, em função da probabilidade de ocorrência, determinará o nível do risco e a consequente gestão dos elementos que poderão ser afetados pelos fenómenos extremos de seca prolongada.

Assim, o risco é uma probabilidade verossímil de ocorrência de um determinado fenómeno, que pode provocar dano no humano, na sociedade e no ambiente, dependente do nível de mitigação para determinar o valor da consequência. A gestão do risco enfatiza a relação entre os processos organizacionais e as características da situação, defendendo uma adaptação da uma determinada

estrutura às várias contingências. Através de um planeamento estratégico²³, é possível preparar medidas de adaptação para reduzir as vulnerabilidades em relação aos riscos.

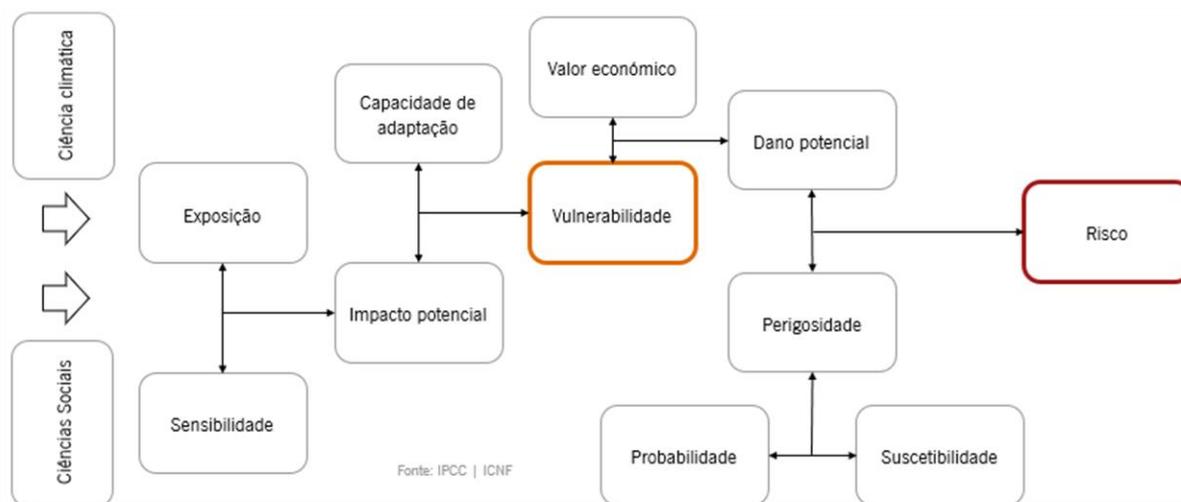


Figura 5 – Organograma de análise de vulnerabilidade e gestão de riscos (Verde & Zêzere, 2007 e IPCC, 2014).

4.5. Mitigação e adaptação nas áreas urbanas

As cidades, como modelos mais evoluídos de reorganização e artificialização do território, são simultaneamente grandes responsáveis pelas alterações climáticas e vítimas importantes dos seus efeitos. Na resposta a este duplo problema, são necessárias estratégias combinadas de mitigação e adaptação às alterações climáticas, com abordagens integradas que equacionam múltiplos sectores, como o planeamento estratégico e o ordenamento do território, a regulamentação da construção, o fornecimento de energia, a monitorização do sistema de transportes, a gestão do espaço público, da água e dos resíduos.

Em Portugal, registaram-se subidas do nível médio do mar de 2,1 mm/ano entre 1992 e 2004 e 4 mm/ano entre 2005 e 2016. Todos os cenários e projeções preveem um aumento significativo da temperatura média em todas as regiões, prevendo-se em 2040, 0,5°C nas áreas costeiras e de 2°C no interior, valores que podem chegar até aos 3°C e 7°C, respetivamente, em 2100. Esta variação é acompanhada por um incremento da frequência e intensidade de ondas de calor. Na precipitação,

²³ Planeamento estratégico é o processo de condução da mudança, baseado numa análise participativa da situação e da evolução previsível e na definição de uma estratégia de utilização dos recursos (escassos) nos domínios críticos.

projeta-se uma redução de 20 % a 40 % do nível atual de pluviosidade anual. O processo de desertificação do solo tenderá a intensificar-se (PNPOT, 2019).

A mitigação está diretamente associada com as ameaças e oportunidade da alteração dos modelos tradicionais de desenvolvimento económico, onde a transição para energias primárias renováveis do setor energético global exigirá investimentos significativos, mas que o seu sucesso determinará o desagravamento das alterações climáticas, a melhoria ambiental e conseqüente qualidade de vida.

O desafio das alterações climáticas não é apenas um problema político, económico, tecnológico ou institucional, mas sim, um problema da vida que transcende a individualidade da política, da economia, da ciência e da sociedade (Bache, *et al.*, 2015).

Atingir o objetivo de reduzir os GEE até 2030 e chegar a zero emissões em 2050 exige esforços sem precedentes no quotidiano das sociedades, economias, infraestruturas e instituições governativas, nomeadamente, alterações relevantes no modo como a energia é produzida e repartida pelas diversas atividades.

Os sistemas de logística estão relacionados com as ações e preferências de consumo dos cidadãos e comunidades. Alterações profundas nos valores, normas e culturas consumistas são, inevitavelmente, parte da sustentabilidade da transformação necessária (PETI3+, 2015).

As cidades contêm potencialidades que podem ser aproveitadas para enfrentar os desafios, retirando benefícios complementares. É necessário selecionar medidas adequadas de mitigação e, sempre que necessário, optar paralelamente por soluções de adaptação, que permitam mitigar a previsão de conseqüências nefastas das alterações climáticas e maximizar os benefícios que possam trazer.

4.5.1. Mitigação

Para mitigar a interferência antrópica no sistema climático é necessário concretizar ações para reduzir a emissão de GEE ou potenciar a sua remoção da atmosfera através de absorventes. A mitigação assenta no princípio base de estabilização da concentração de GEE na atmosfera, no qual, está associada uma meta de referência correspondente ao intervalo de 450-550 ppmv eq. CO₂, considerada como nível de segurança para reter o aquecimento global em valores médios inferiores a 2°C.

A emissão de GEE é um fenómeno comum a vários sectores de atividade, justificando, por isso, o carácter transversal das políticas de mitigação. São necessários investimentos em plataformas de I&D+i

(investigação, desenvolvimento e inovação) para criar tecnologia que permita maximizar o desempenho operacional de um determinado equipamento, aliado a um consumo reduzido de energia e zero emissões de GEE e, políticas de planeamento e gestão que incentivem e monitorizem a manutenção e o incremento de espaços verdes urbanos, uma adequada florestação dos terrenos baldios e privados, estabelecendo regras concretas sobre as espécies plantadas (autóctones e ignífugas) e os *stakeholders* para minimizar o nível de riscos dendrocaustológicos.

Para uma decisão informada, é importante considerar as fontes e a respetiva contribuição dos GEE. O gás mais importante em termos de quantidade de emissões é o CO₂, que representa 76 % do total de emissões de GEE e apresentou um crescimento de 2,9 % em 2018 (Tabela 2). As emissões de CH₄ cresceram 1,3 % por ano na última década (2009 -2018) e 1,7 % no ano em 2018. O N₂O apresenta um aumento constante de 1,0 % por ano na última década e 0,8 % em 2018. Os gases fluorados (SF₆, HFCs e PFCs) apresentam um rápido crescimento de 4,6 % por ano na última década e 6,1 % em 2018. O NF₃ apesar de ser considerado como um GEE e regulado pelo Protocolo de Quioto²⁴, não se encontra nas atuais estatísticas, aqui, introduzido para efeitos de análise junto com os gases fluorados (UN, 2019).

Os países do G20²⁵ são responsáveis por 78 % do total de emissões de GEE. Embora as estatísticas globais forneçam importantes informações sobre o progresso coletivo, a realidade é que mascaram as dinâmicas a nível local. A China (26 %), a UE28 (8 %), a Índia (7 %) e os EUA (13 %) contribuíram com mais de 54 % das emissões totais de GEE na última década (2009 -2018) (UN, 2019).

Para a redução global de emissões de GEE é necessária uma transformação setorial de longo prazo que permita atingir as zero emissões o mais breve possível. Através da descarbonização total do setor energético, com base em energias renováveis, reduzindo gradualmente a dependência de matéria-prima de origem fóssil. Eletrificação em todos os setores de atividade, incluindo o setor dos transportes que necessitará de uma introdução de modos de transporte sustentáveis para promover a mobilidade coletiva e individual, ciclovias e locais para os peões. Alterações nas tecnologias e processos industriais em direção à gradual eletrificação. Descarbonização do setor da construção e a eficiência energética das infraestruturas construídas. Gestão agrícola eficiente, bem como, racionalização do lado do consumidor para minimizar os desperdícios alimentares. Proibir a desflorestação e adotar políticas para a

²⁴ Protocolo de Quioto estabelece objetivos legalmente vinculativos para que os países desenvolvidos limitem ou reduzam as emissões de GEE. Foi adotado em 1997 e entrou em vigor em 2005. O vapor de água é o GEE mais importante, mas, como não é produzido por seres humanos em quantidade significativa, não é regulado pelo Protocolo de Quioto.

²⁵ O G20 é formado pelas 19 maiores economias do mundo. Fazem parte os oito países mais ricos e influentes do mundo (G8: Alemanha, Canadá, EUA, França, Itália, Japão, Reino Unido e Rússia) e os 11 países emergentes (África do Sul, Arábia Saudita, Argentina, Austrália, Brasil, China, Coreia do Sul, Índia, Indonésia, México e Turquia).

conservação e manutenção do ciclo do carbono terrestre para preservar os ecossistemas naturais (IPCC, 2012).

Tabela 2 – Principais gases de efeito estufa, o seu crescimento mundial no ano de 2018, o total das emissões mundiais e o potencial de aquecimento global no período de 100 anos.

GEE	Exemplos de fontes antrópicas	Crescimento em 2018 (%)	Totais de emissões (%)	GWP (100 anos)
CO ₂	Combustão de combustíveis fósseis, produção de cimento	2,9	76	1
CH ₄	Pecuária, cultivo de arroz, aterros sanitários	1,7	16	25
N ₂ O	Fertilizantes agrícolas, alterações no uso do solo	0,8	6	298
HFC _s	Líquidos refrigerantes	6,1	< 2	124-14800
PFC _s	Refrigerantes, indústria eletrônica e de alumínio	6,1	< 2	7390-12200
SF ₆	Isolantes em eletrônica e indústria de magnésio	6,1	< 2	22800
NF ₃	Indústria eletrônica e fotovoltaica	6,1	< 2	17200

Fonte: (IPCC, 2012 e UN, 2019).

4.5.2. Adaptação

Os esforços globais de mitigação são determinantes para afastar os impactos mais catastróficos das alterações climáticas, no entanto, mesmo que as emissões de GEE estabilizassem hoje, a dinâmica de transformação, alimentada pelas emissões passadas, constitui inevitavelmente ameaças à vida, ao património e à prosperidade.

A adaptação é o processo que procura minimizar os efeitos negativos dos impactos das alterações climáticas. Nos sistemas antrópicos, a adaptação visa moderar ou evitar danos ou explorar oportunidades benéficas. Em alguns sistemas naturais, a intervenção humana pode facilitar a adaptação ao clima esperado e aos seus efeitos (IPCC, 2014). A adaptação pode ser preventiva, adotar ações preventivas aos efeitos esperados ou reativa, adotar as ações depois dos efeitos se sentirem.

Os países têm diferentes capacidades de adaptação aos impactos das alterações climática. A resiliência é uma indicação da capacidade de um sistema de absorver as mudanças e está, portanto, intimamente relacionada ao conceito de capacidade adaptativa.

Os elementos de qualquer iniciativa de adaptação passam por uma análise sobre os elementos físicos e humanos de um território. Deve-se analisar os dados meteorológicos, as previsões de seca e de pluviosidade regionais e nacionais, efetuar projeções futuras a partir de modelos climáticos, analisar a política de ordenamento do território e o regime do uso do solo, analisar as dinâmicas demográficas, as

previsões de desenvolvimento económico, o desenho urbano e verificar todos os programas especiais²⁶, setoriais e os planos territoriais de planeamento e ordenamento do território.

As variáveis podem, então, ser utilizadas para avaliar os impactes climáticos e as vulnerabilidades relacionadas. Com base na avaliação, as opções de adaptação podem ser selecionadas tendo em consideração o custo-eficácia e a aceitação pública.

No setor da energia são esperados impactes ligeiros, no entanto, eventos extremos, tais como tempestades, secas ou períodos de muita ou pouca água afetam o sistema de produção energética, por isso é necessário garantir a disponibilidade hídrica para a produção de energia. Com a subida generalizada das temperaturas a necessidade de consumo para aquecimento será mais reduzida, simultaneamente, a necessidade de energia para arrefecimento deverá aumentar.

Nos transportes as opções mais relevantes de adaptação são o desenvolvimento de sistemas tecnológicos inteligentes de deteção e informação de eventos climáticos adversos, acautelando comportamentos, minimizando danos físicos como os acidentes rodoviários e danos económicos como congestionamento que provocam atrasos, stress e poluição atmosférica. Nos pavimentos, as misturas betuminosas relacionam-se bem com o calor, por outro lado, a precipitação intensa provoca dificuldade de drenagem (Diário da República, 2010).

Tabela 3 - Medidas de mitigação e adaptação às alterações climáticas em área urbanas.

Medidas	Mitigação	Adaptação
Adequar a geometria urbana às necessidades de arrefecimento e ventilação		X
Adequar a ocupação do solo e as infraestruturas à fenómenos hidrológicos extremos		X
Aumentar à superfície ocupada por vegetação (sobretudo arbórea)	X	X
Aumentar as superfícies permeáveis		X
Aumentar e melhorar os espaços públicos abertos		X
Combustíveis fósseis mais eficientemente para processos industriais ou geração de eletricidade	X	X
Criar ciclovias e espaços para peões	X	X
Criar sistemas de armazenamento de água		X
Eficiência energética nos edifícios	X	X
Hegemonia da energia solar e eólica	X	X
Reduzir o tráfego automóvel (fomentar transporte partilhado em detrimento do individual)	X	X
Renaturalizar os rios para melhorar a retenção de água e evitar cheias		X

Fonte: (Bache, *et al.*, 2015, IPCC, 2014, UN, 2019 e Alcoforado, *et al.*, 2009).

²⁶ Os programas especiais visam a prossecução de objetivos considerados indispensáveis à tutela de interesses públicos e de recursos de relevância nacional com repercussão territorial, estabelecendo, exclusivamente, regimes de salvaguarda de recursos e valores naturais. Têm por objeto a orla costeira, as áreas protegidas, as albufeiras de águas públicas e os estuários (art.º 42º, (RJIGT, 2015).

4.6. Governança

As alterações climáticas constituem um problema global. As decisões relacionadas com a mitigação e com a adaptação envolvem ações e opções a todos os níveis da tomada de decisão, desde o nível local e da comunidade até ao nível internacional, envolvendo todos os governos nacionais (Bache, *et al.*, 2015).

Em Portugal, a administração pública integra os órgãos do Estado e das regiões autónomas que exercem funções administrativas a título principal, as autarquias locais e suas associações e federações de direito público, as entidades administrativas independentes, os institutos públicos e as associações públicas (art.º 2º, nº 4, (CPA, 2015). A resposta política a este problema requer uma ação concertada e assertiva, traduzida na produção de medidas que minimizem as causas antrópicas e que preparem a sociedade para lidar com os impactes biofísicos e socioeconómicos.

Com as previsões de que as emissões de GEE necessitam ser de 25 % a 50 % inferiores às de 2018 para garantir um aquecimento global inferior a 2°C no ano de 2030, os cientistas portugueses já alertam para a irreversibilidade dos efeitos do aquecimento global e da inevitável adaptação em critério da presente mitigação para enfrentar a elevada probabilidade do aumento do nível do oceano em 30 cm, afetando a população das áreas vulneráveis do litoral (Antunes, 2020).

Em conjunto com a União Europeia, Portugal assumiu o compromisso de redução das emissões de GEE em 20 % até 2020 e assegurar a neutralidade do carbono (reduzir 80 % - 95 %) até 2050, em relação com os níveis de 1990 (ano de referência), de forma a concretizar uma transição sustentável para uma economia competitiva e de baixo carbono (APA, 2019).

A nível europeu, no âmbito do pacote clima-energia para 2020²⁷, os sectores abrangidos pelo Comércio Europeu de Licenças de Emissão²⁸ (CELE)²⁹ devem reduzir 21 % das emissões, em 2020, em relação aos níveis de 2005 e os sectores não abrangidos pelo CELE³⁰ (não-CELE) devem reduzir 10 % das emissões em relação aos níveis de 2005, sendo estabelecido uma *annual emission allocations* (AEA) correspondentes a 49,1 MtCO₂eq. para o ano de 2020. O sector do *land use, land use change and forestry* (LULUCF) não é contabilizado para este efeito (DCLIMA, 2019).

²⁷ No âmbito do pacote energia-clima aprovado em 2009 foram estabelecidos os objetivos 20-20-20 para 2020, designadamente, reduzir as emissões de GEE em 20 %, aumentar 20 % a proporção de fontes de energia renováveis da UE e alcançar a meta de 20 % estabelecida para a eficiência energética.

²⁸ O Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE) é um mecanismo flexível previsto no contexto do Protocolo de Quioto, constituindo o primeiro instrumento de mercado intracomunitário de regulação das emissões de GEE.

²⁹ CELE, são sectores muito diversos, desde o energético aos industriais, no qual, se destacam as refinarias, os metais, o cimento, o químico, o cerâmico, o vidro, o papel, o agroflorestal ou o agroalimentar. Desde 2010 é igualmente abrangido o sector da aviação.

³⁰ Os sectores não-CELE, correspondem aos serviços, residencial, transportes, agricultura, resíduos e águas residuais.

As emissões de GEE, sem contabilizar as LULUCF, são estimadas em cerca de 70,7 MtCO₂eq., representando um aumento de aproximadamente 19,5 % em relação ao ano de 1990 e um crescimento de 7 % relativamente a 2016. Considerando o setor LULUCF, o total de emissões em 2017 é estimado em 78 MtCO₂eq., correspondendo a um aumento de 29,2 % em relação a 1990 e um incremento de 28,5 % em relação a 2016. Este crescimento acentuado está relacionado com os incêndios florestais ocorridos no trágico ano de 2017, situação associada a um ano particularmente seco, às altas temperaturas que ocorreram fora do período normal de verão e a ventos invulgarmente fortes, como o furacão Ofélia que varreu a costa da Península Ibérica em outubro de 2017 (Gráfico 1) (DCLIMA, 2019).

O GEE com maior representatividade é o CO₂ que apresenta 78 % do total das emissões nacionais, situação que está relacionada com a importância do setor da energia e a predominância do uso de combustíveis fósseis, em seguida surge o CH₄ com 13 % das emissões, os gases fluorados com 5 % e os N₂O com 4 % das emissões (Gráfico 1) (DCLIMA, 2019).

Para assegurar a neutralidade das emissões portuguesas até ao final de 2050, a trajetória definida resulta na redução global de emissões do sistema energético de 50 % a 60 %, em relação aos níveis de 1990. A conjugação dos resultados do setor energético com os resultados dos setores da agricultura, floresta e uso do solo e dos resíduos, resulta numa redução das emissões nacionais de - 52 % a -48 %, nos cenários sujeitos a restrição de 60 %. Nos cenários sujeitos a restrição de 70 % nas emissões do sistema energético, apresenta uma diminuição de -60 % a -56 % (APA, 2012).

Para além dos instrumentos fundamentais³¹ para o cumprimento dos objetivos nacionais em matéria de alterações climáticas, o Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT) plasma um programa de ação com medidas prioritárias específicas para a mitigação e adaptação ao flagelo das alterações climáticas. Contempla como prioritário, uma maior participação das fontes renováveis de energia na produção de eletricidade e promoção da utilização de tecnologias de captura e fixação do carbono para reduzir a emissão dos GEE. Definir um sistema de construção de preços, integrando elementos da economia de carbono que incentive a utilização do transporte público e a mobilidade não motorizada para melhorar a qualidade do ar, nomeadamente em áreas de grande densidade populacional. Regular a utilização de veículos em meio urbano, tanto de transporte público como

³¹ Roteiro Nacional de Baixo Carbono (RNBC) - Estabelece as políticas a prosseguir e as metas nacionais a alcançar em termos de emissões de GEE. O RNBC baseia-se em cenários prospetivos de emissões de GEE para 2050.

Programa Nacional para as Alterações Climáticas 2020/2030 (PNAC 2020/2030) - Estabelece as políticas, medidas e instrumentos, com o objetivo de dar resposta à limitação de emissões de GEE para os sectores não cobertos pelo CELE, prever as responsabilidades sectoriais, o financiamento e os mecanismos de monitorização e controlo.

Sistema Nacional para Políticas e Medidas (SPeM) - Visa dinamizar a avaliação do progresso na implementação das políticas e medidas de mitigação setoriais, potenciando o envolvimento e reforçando a responsabilização dos setores, na integração da dimensão climática nas políticas setoriais.

individual de passageiros, de mercadorias e mistos, definindo os índices de emissão admissíveis, através de medidas incidentes na aquisição e na utilização. Promover a qualidade ambiental e a eficiência energética dos edifícios e da habitação, nomeadamente através de incentivos à incorporação de soluções de sustentabilidade no processo de construção e de reabilitação (PNPOT, 2019).

Em concreto para o sistema de transportes, o Plano Estratégico dos Transportes e Infraestruturas 2014 -2020³² (PETI3+) estabelece como visão de longo prazo para as políticas ambientais, através de uma quota modal equilibrada e uma rede de transportes e infraestruturas eficiente, com redução das emissões de CO₂ e de poluentes atmosféricos por passageiro e por unidade de carga transportada, baseada numa redução do consumo de combustíveis fósseis, minimizando a dependência energética externa do país e a fatura energética nacional. A melhoria da oferta de serviços públicos de transporte de passageiros a nível local, regional e nacional que promova a migração do transporte individual para o transporte público, com qualidade, níveis de oferta e de serviço adequadas à satisfação das necessidades das populações. A concretização de um sector dos transportes e infraestruturas económica, financeira e ambientalmente sustentável para o Estado, para as empresas, para os clientes e para a sociedade em geral (PETI3+, 2015).

O PETI3+ é auxiliado pelo Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC2030) que caracteriza a energia e o clima em Portugal e estabelece diretrizes para a descarbonização, eficiência energética, segurança no abastecimento, o mercado interno da energia e investigação, a inovação e competitividade e os compromissos nacionais com a UE.

Attingir a neutralidade carbónica em 2050 significa o abandono progressivo de um modelo económico linear, sustentado nos combustíveis fósseis, apostando numa economia que se sustenta nos recursos renováveis e que utiliza os recursos de forma eficiente, prosseguindo com modelos de economia circular, que valoriza o território e promove a coesão territorial. O esforço nacional de redução de emissões, inserido num quadro mais amplo de ações a nível global, contribuirá para que os custos de adaptação possam ser significativamente reduzidos, com poupanças económicas evidentes.

A visão estratégica de Portugal para o horizonte 2030 passa por promover a descarbonização da economia e a transição energética visando a neutralidade carbónica em 2050, enquanto oportunidade para o país, assente num modelo democrático e justo de coesão territorial que potencie a geração de riqueza e uso eficiente de recursos (APA, 2019).

³² O PETI3+ estabelece um quadro de orientações para o setor dos transportes e um conjunto de intervenções prioritárias para o sector dos transportes marítimo, aéreo, ferroviário, rodoviário e transportes públicos.



Gráfico 1 - Emissões nacionais de GEE com e sem *land use, land use change and forestry* e Percentagem das emissões dos vários GEE em Portugal no ano de 2017 (DCLIMA, 2019).

4.7. Setor da energia

As previsíveis alterações do clima à escala local implicarão um consumo acrescido de energia (Alcoforado, *et al.*, 2009). As atividades económicas são chamadas a aderir a novos modelos económicos baseados na eficiência, reutilização e circularidade e na economia de baixo carbono. A energia será um fator crítico para a mitigação e adaptação às alterações climáticas, pois, a necessidade de climatização nas cidades implicará consumos acrescidos e a eletrificação do setor dos transportes constitui um desafio e uma oportunidade na introdução de novas infraestruturas, veículos e hábitos de utilização. A opção por fontes de energia renovável e as formas de consumo local, devem ser reforçadas com benefícios ambientais, sociais e económicos.

Atualmente, 70 % da economia mundial provém de áreas urbanas, projeta-se que aumente para 85 % até 2050, principalmente em cidades pequenas e médias dos países em vias de desenvolvimento.

As emissões de GEE aumentaram a uma taxa de 1,5 % por ano na última década (2009-2018), alcançando um recorde de 55,3 GtCO₂ em 2018, registaram um ligeiro decréscimo em 2014 e 2016, impulsionado pela crise económica mundial que provocou o decréscimo de consumo final e consequente redução na energia necessária para a produção industrial. Com o regresso do crescimento económico, o consumo de energia voltou a aumentar, levando os setores da energia e indústria a bater recordes de emissões de CO₂ de 37,5 GtCO₂ por ano, com um incremento de 2 % em 2018 (UN, 2019).

Na Europa, o setor da energia representa 80,7 % do total das emissões de GEE. Os combustíveis fósseis, em 2017, representavam 74 % da energia primária fornecida, no entanto, a parcela de fontes de

energia renováveis aumentou significativamente, de 4 % em 1990 para 14 % em 2017. O petróleo (36 %) é utilizado principalmente como combustível nos transportes, o gás natural (23 %) continua a ser a fonte de energia mais importante, o carvão caiu de 26 % em 1990 para 13 % em 2017 e a parcela de energia nuclear permanece constante nos 12 % (EEA, 2019).

Em Portugal, o setor da energia, que inclui os transportes, representava em 2017 aproximadamente 72 % das emissões de GEE nacionais, apresentando um aumento de 8,7 % em relação a 2016. Neste setor, a produção de energia (29,4 %) e os transportes (24,2 %) são as fontes mais importantes. A combustão na indústria, responsável por 10,7 % das emissões do setor da energia, registou, em 2017, um aumento de 1,2 % em relação a 2016 (Gráfico 2) (DCLIMA, 2019).

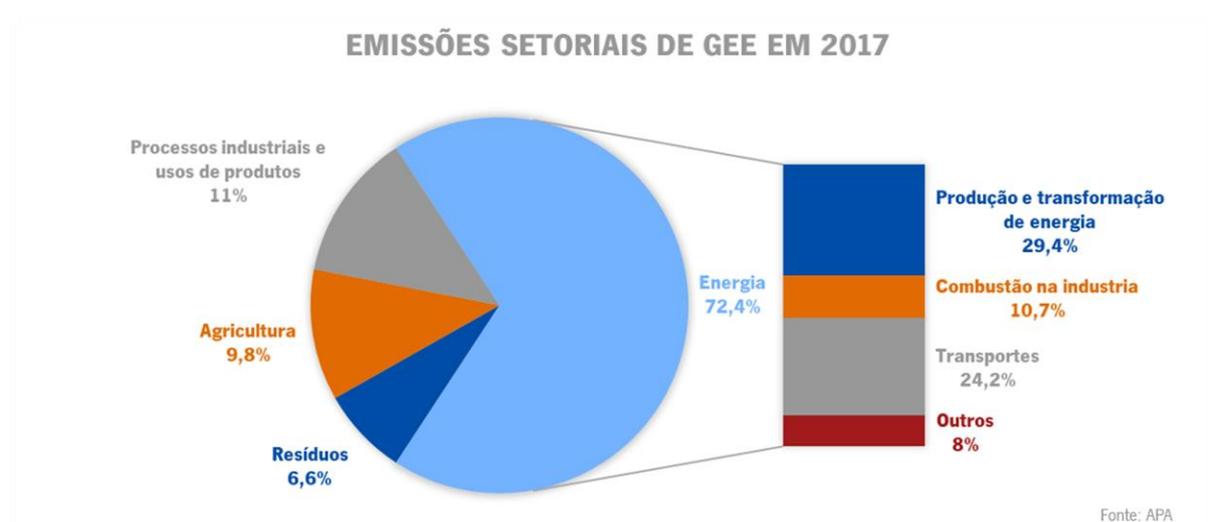


Gráfico 2 - Percentagem de emissões de GEE em Portugal por setor de atividade (DCLIMA, 2019).

A transformação do setor da energia é um desafio, prevê-se que o consumo mundial crescerá 30 % até 2040. O atual sistema mundial de energia ainda é altamente dependente de carbono e satisfaz as necessidades de 85 % do consumo final de energia. No entanto, estima-se uma redução na utilização de petróleo de 32 % em 2016 para 27 % em 2040 e no carvão de 27 % para 22 %, respetivamente. Por outro lado, o gás natural sofrerá um aumento de 22 % em 2016 para 25 % em 2040, a energia nuclear de 5 % para 6 % e as energias renováveis de 14 % para 20 %, respetivamente em 2040. A nível mundial todos os cenários de longo prazo apontam para um rápido aumento das energias renováveis e da eficiência energética para a combinação com a eletrificação de muitos novos usos finais, como fatores fundamentais de uma transição energética bem-sucedida (APA, 2017).

Portugal apresenta um investimento elevado em energias renováveis, refletindo-se na redução da dependência externa de energia, -5,6 % em 2015 em comparação a 2006 e no aumento da produção doméstica de energia, que juntos garantem um nível de segurança alto no fornecimento, de 24 % do consumo total de energia primária em 2015 contra 16,5 % em 2006. É de salientar a contribuição do setor das energias renováveis para a economia portuguesa, pois, produz uma nova vertente industrial e de negócios que criam empregos, promove o desenvolvimento regional, aumenta as exportações de bens e serviços, impulsiona a inovação e a pesquisa científica e demonstra-se capaz de atrair investimentos internacionais e estimular a internacionalização das empresas nacionais (APA, 2017).

A eletricidade (energia final) é o vetor de descarbonização mais relevante, espera-se a duplicação do consumo no período de 2010 a 2050, com ênfase na indústria e nos transportes. Estima-se que a produção de energia renovável fornecerá aproximadamente 90 % do total das necessidades de consumo em 2050. Atualmente as energias renováveis representam 40 % da produção de eletricidade e as não renováveis 60 % (APA, 2012).

Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE) a contribuição dos recursos renováveis na produção de energia elétrica, representava 45,87 % no ano de 2011, e 54,07 % no ano de 2016, verificando-se na proporção do consumo final de energias renováveis no setor dos transportes, uma representação de 0,7 % em 2011, um aumento para 7,7 % no ano de 2016 e para 7,9 % no ano de 2017.

Segundo a Rede Energética Nacional (REN), em fevereiro de 2020, as fontes de energia renovável contribuíram com 68,17 % do total da geração de eletricidade, repartidos pela energia hídrica (39,34 %), a eólica (21,82 %), a bioenergia (5,51 %) e a energia solar (1,50 %). A geração de energia elétrica com fontes primárias de energia esgotável contribuiu com os remanescentes 31,83 %, repartidos pelo gás natural (22,22 %), a cogeração fóssil (8,31 %) e o carvão (1,30 %).

No setor da energia, em 2017, o consumo final aumentou em relação ao ano de 2016, impulsionado pelo aumento dos setores mais representativos, a indústria (30 %) e os transportes (38 %), que juntos representam 68 % do consumo final, seguidos do setor residencial com 17 %, dos serviços com 12 % e a agricultura e pescas com 3 % (DGEG & ADENE, 2019).

As emissões totais de GEE portuguesas situaram-se nas 70,8 MtCO₂eq, como o setor da energia representa 72,4 % das emissões totais de GEE e, no ano de 2017 recorreu de forma significativa à utilização de combustíveis fósseis para a produção de eletricidade, as emissões totais aumentaram 7 % relativamente a 2016. Contudo, quando ponderado o período de 2005 a 2017, o setor da energia apresenta um decréscimo de -20 % das emissões, no entanto, no período global de 1990-2017 apresenta

um aumento de 23,5 % (APA, 2019). Comparativamente com a média da UE28 (8,7 tCO₂eq./hab), Portugal apresentava, em 2017, emissões de GEE per capita inferiores em aproximadamente -21 %.

Os objetivos comunitários estabelecidos para 2020 pretendem uma representatividade de 31 % de fontes de energia renováveis no consumo final bruto de energia e 10 % no consumo final de energia nos transportes.

Portugal, em 2017, apresentou um aumento no consumo final bruto de energia renovável de 28,1 % e no setor dos transportes um aumento de 7,9 %, resultando em aproximadamente 91 % do cumprimento da meta para 2020 (APA, 2019).

Apesar do petróleo continuar a ser a principal fonte de energia primária (Gráfico 3), seguido do gás natural, de renováveis e do carvão (14,4 %), verifica-se a redução na utilização do petróleo de 52,9 % em 2007 para 40 % em 2017, enquanto, a utilização de fontes renováveis aumentou de 17,6 % em 2007 para 21,3 % em 2017 e do gás natural de 15,2 % para 24,2 % em 2017.

Quanto ao consumo final por forma de energia (Gráfico 3), verifica-se que, em 2017 o petróleo continua a ser a principal fonte de energia (48,4 %), seguido da eletricidade (25,7 %), gás natural (11,1 %), calor (7,3 %) e renováveis (6,8 %). Em relação à UE28, Portugal é o quinto país com maior quota de eletricidade proveniente de fontes de energia renováveis.

Em 2017, o setor dos transportes continuou a ser o principal consumidor de energia (37,2 %) (Gráfico 3), seguido da indústria (31,3 %), doméstico (16,4 %), serviços (12,2 %) e agricultura e pescas (2,9 %). No período 2007-2017 registaram-se taxas de crescimento médias anuais negativas, nos transportes (- 1,2 %), na indústria (-2,4 %), no doméstico (-2,2 %), nos serviços (-1,5 %) e na agricultura e pescas (- 0,3 %) (DGEG & ADENE, 2019).

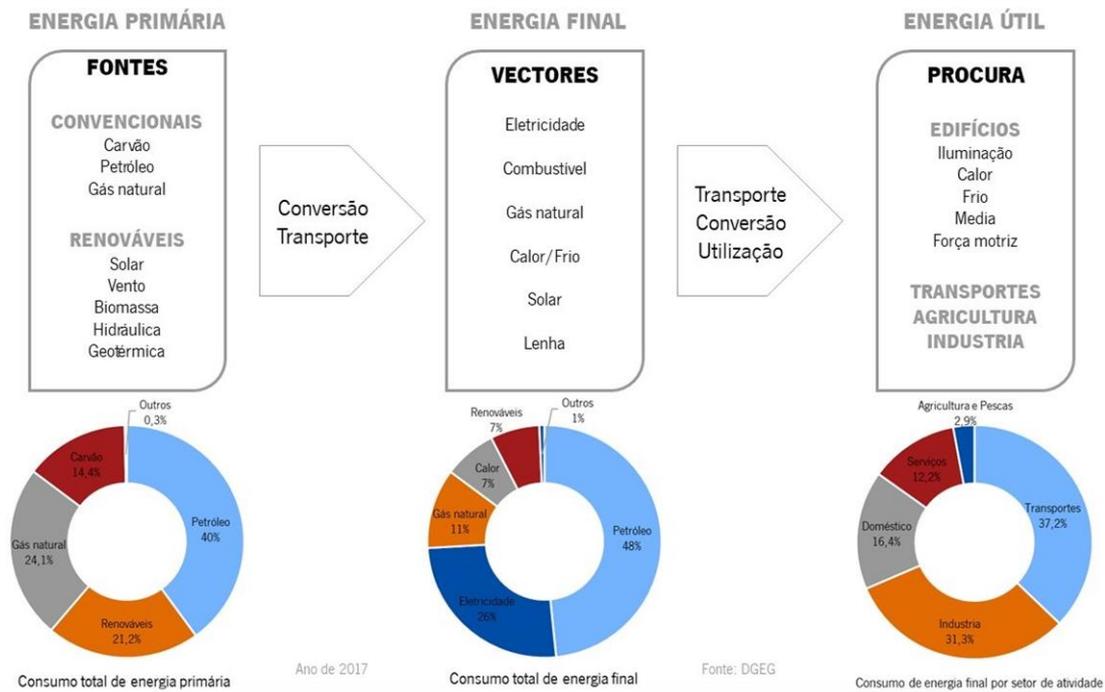


Gráfico 3 – Consumo primário de energia primária, consumo total de energia final e consumo de energia final por setor de atividade em Portugal no ano de 2017 acompanhado por organograma do percurso energético (APA, 2019 e DGEG & ADENE, 2019).

4.8. Setor dos transportes

O setor da energia será essencial para o sucesso dos esforços de mitigação na obtenção dos objetivos de redução de GEE em 2030 e a conquista do objetivo de zero emissões em 2050. Neste sentido é necessária uma transformação significativa nos modos de produção e consumo da energia final.

Sem a implementação de políticas de mitigação agressivas e sustentadas, as emissões dos transportes podem aumentar a uma taxa mais rápida do que as emissões dos restantes setores de uso final de energia e atingir cerca de 12 GtCO₂eq./ano até 2050 (APA, 2019).

A descarbonização do setor da energia representa um elevado benefício para o setor dos transportes que, em 2014, representava 28 % do consumo final de energia e 23 % das emissões de CO₂ do setor energético mundial. As emissões do setor de transportes cresceram rapidamente e aumentaram 2,5 % por ano entre 2010 e 2015, em grande parte devido ao crescimento económico e alterações no comportamento da população. O setor dos transportes consome aproximadamente 65 % do petróleo global, diretamente influenciado pelos 92 % de modos de transporte movidos por derivados de petróleo (UN, 2019).

Uma alteração radical na estrutura do setor dos transportes representa o fator chave para uma adequada mitigação dos efeitos esperados pelas alterações climáticas. A descarbonização do setor exigirá uma alteração radical na natureza e estrutura do sistema de transportes, grandes melhorias na eficiência energética, no tipo de veículos e uma transição significativa e rápida no tipo de energia utilizada. Uma ação agressiva no presente representaria a base para a implementação de uma continuidade saudável em direção à meta de longo prazo.

O setor dos transportes da Europa depende fortemente de combustíveis fósseis e responde por um quarto das emissões de GEE europeias. Cumulativamente, é uma fonte significativa de poluição do ar e de ruído ambiental. O consumo anual de energia nos transportes europeus aumentou 38 % entre 1990 e 2007 (32 % na UE28). No entanto, a recessão económica causou um declínio na procura de transporte, levando a uma redução de 3 % no consumo de energia relacionada (EEA, 2020).

O transporte marítimo atingiu o pico de emissões no ano de 2008, seguido de uma redução de 25 % até 2015. Desde 2015, as emissões aumentaram gradualmente atingindo 146 MtCO₂eq. em 2017, contudo, os valores são inferiores - 20 % em relação ao ano de 2008.

A aviação cresceu significativamente nas últimas décadas, duplicando as emissões de GEE relativamente ao ano de 1990 e apresenta uma taxa média de crescimento de 3 % desde o ano de 2013. Em 2017 a aviação representava 3,9 % das emissões totais de GEE da UE28.

O transporte rodoviário responde pela maior proporção do consumo de energia no setor dos transportes. Em 2017 representou 73 % do consumo total de energia final, um valor 34 % superiores aos valores de referência de 1990. Desde 2014, o consumo de petróleo³³ tem apresentado uma tendência ascendente a uma taxa média de 2,2 % por ano. Em 2017, ficou 4 % abaixo dos níveis de 2008. As emissões de GEE dos transportes aumentam todos os anos desde 2014 e em 2018 as emissões correspondem a 29 % acima do valor de base de 1990. Atingir a neutralidade carbónica precisará da redução de 90 % das emissões dos transportes até 2050 (EEA, 2020).

Em Portugal, a curto prazo, pretende-se uma redução dos GEE em 2020 de -14 % e de -40 % em 2030 (APA, 2019), no entanto, as emissões dos transportes sofreram um aumento de 68 % no período 1990 a 2017 e representaram 37,2 % do consumo final de energia, verificando-se, que os transportes rodoviários representavam 95 % deste valor (DGEG & ADENE, 2019). Após o crescimento constante das emissões até ao início do ano 2000, no qual, se seguiu um período de estabilização, registou-se após 2005 um decréscimo das emissões deste setor. Nos anos mais recentes, tem-se registado uma inversão

³³ Os combustíveis derivados de petróleo abrangem todos os combustíveis, exceto biodiesel, biogás, energia elétrica, gás natural e biocombustíveis sólidos. Em 2016, os combustíveis derivados de petróleo representaram 95 % de todos os combustíveis consumidos. Com 3 % do consumo total de energia, o biodiesel era a maior fonte de combustíveis não derivado de petróleo, enquanto a energia elétrica era a segunda, com 1,0 %.

desta tendência, com o aumento de 8,4 % das emissões dos transportes no período entre 2013 e 2017 (DCLIMA, 2019).

O setor de transportes é, juntamente com o sistema de geração de energia, um dos principais emissores nacionais de emissões de GEE (24,2 %) e o setor com o maior crescimento de emissões nas últimas décadas. Este setor inclui transporte rodoviário, ferroviário, marítimo doméstico e aviação civil (apenas os componentes nacionais) e pode ser dividido em transporte de passageiros e mercadorias.

Em 2017, (Gráfico 4) o subsetor rodoviário (16.338 KtCO₂eq.) responde por 96 % das emissões dos transportes, com os caminhos de ferro nacionais (33,03 GgCO₂eq.), a aviação civil (506 ktCO₂eq.) e o transporte marítimo doméstico (270.9 ktCO₂eq.) a representar apenas 4 % das emissões. As emissões da aviação civil totalizaram 4376 ktCO₂eq, dos quais 506 ktCO₂eq. são de voos domésticos e 3870 ktCO₂eq. são de voos internacionais. Apesar da crescente eletrificação das linhas ferroviárias, as locomotivas, manobras e vagões ainda são responsáveis por parte substancial do transporte ferroviário e conseqüentemente os seus escapes produzem 33,03 GgCO₂eq (DCLIMA, 2019).

As emissões de GEE dos transportes rodoviários foram estimadas em cerca de 16.338 KtCO₂eq. em 2017, representando um aumento de 71 % em comparação com os 9574 KtCO₂eq. estimado para 1990. A utilização de veículos ligeiros é responsável por 60 % das emissões em relação ao total do transporte rodoviário, é também, o setor com a maior intensidade energética e a maior contribuição indireta para a importação de energia primária e dependência energética associada, detêm taxas de eficiência de utilização bastante baixas, com valores de cerca de 1,2 passageiros por veículo ligeiro e ocupação média de transporte público entre 17 % e 24 % (abaixo da média europeia), deixando espaço para ganhos de eficiência significativos. O parque automóvel rodoviário, em 2017 (Gráfico 4), era composto por veículos ligeiros (71,43 %), comerciais ligeiros (18,28 %), pesados de mercadorias (1,33 %), autocarros (0,22 %) e motas (motociclos, ciclomotores e monociclos, 8,74 %) num total de 6.775.546 veículos (APA, 2019).

Trata-se de um setor em que é urgente reverter a tendência crescente de emissões. A próxima década será uma alteração de paradigma, estão previstos investimentos significativos para a descarbonização do setor através da progressiva alteração dos combustíveis fósseis tradicionais por eletricidade, biocombustíveis avançados e hidrogénio, concretizando benefícios significativos para a eficiência energética e o meio ambiente.

Na evolução do consumo de energia nos transportes nacionais, o transporte rodoviário representa 95 % de todo o consumo. De 2007 para 2017, o consumo de energia nos transportes diminuiu cerca de 11 %, devido principalmente à redução do consumo do transporte rodoviário particular. De 2007 para 2013, o consumo neste setor caiu 17 %, tendo recuperado 7 % de 2013 para 2017. Nos últimos 25 anos,

o peso do consumo do gasóleo nos transportes rodoviários aumentou de 50 % para, quase, 80 %. A gasolina, nesse período, teve uma evolução inversa, passando de um peso de 50 % para 20 %. De 2007 para 2017, o consumo de gasóleo utilizado no transporte rodoviário caiu 3 %. O consumo de gasolina no mesmo período caiu 10 %, enquanto o GPL auto e o gás natural veicular, no seu conjunto, subiram 37 %. Em 2017, o peso do GPL auto e do gás natural no total dos transportes foi de 0,7 % e 0,3 %, respetivamente. O peso do consumo de eletricidade nos transportes rodoviários foi residual.

Analisando a evolução dos preços médios de venda ao público dos dois principais combustíveis líquidos consumidos em Portugal continental, verifica-se que o gasóleo, entre 2008 (1,260 €/L) e 2018 (1,343 €/L) aumentou 6,6 %, representando o décimo preço mais elevado da UE28 (2,8 % superior à média da UE28). No caso da gasolina 95, entre 2008 (1,386 €/L) e 2018 (1,537 €/L), o aumento foi de 10,6 %, afirmando-se com o terceiro preço mais alto da UE28 (5,9 % superior à média da UE28) (DGEG & ADENE, 2019).

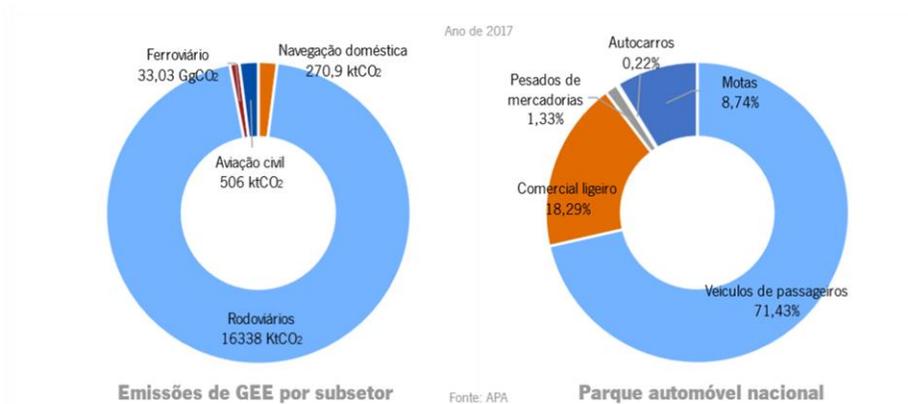


Gráfico 4 – Emissão de GEE no setor dos transportes portugueses e composição do parque automóvel no ano de 2017 (DGEG & ADENE, 2019 e DCLIMA, 2019).

4.8.1. Mitigação nos transportes

Algumas das ações de mitigação relacionadas com o setor dos transportes implicam o planeamento urbano, redução do número de viagens, diversidade do uso de modos de transporte, expandir a oferta e procura dos transportes públicos e cultura de partilha, melhorar a eficiência dos veículos particulares, da logística de *last mile* e a eletrificação do setor.

A mitigação da emissão de GEE no setor dos transportes, representa um particular desafio, pois, é o setor que mais contribui para o fenómeno das alterações climáticas, assim como, para a satisfação das necessidades pessoais, sociais e económicas, produção do desenvolvimento e coesão territorial.

Os transportes têm muitos *stakeholders*, incluindo os utilizadores privados e comerciais, os fabricantes de veículos, os fornecedores de combustíveis, construtores de estradas, planeadores e prestadores de serviços de transporte.

A administração pública abrange as estruturas do Estado, participantes e colaboradores com um objetivo comum de prossecução do interesse público e da proteção dos direitos e interesses dos cidadãos. Absorve as demagogias e a retóricas políticas, os pactos em ciclos eleitorais e as disfunções da democracia.

Para responder ao desafio das alterações climáticas é necessário extinguir a tradição passada de associação entre o planeamento e gestão dos transportes e infraestruturas ao ciclo político, que condicionam a eficiência da operação e a racionalidade e continuidade de projetos e investimentos (PETI3+, 2015). Uma estratégia de médio e longo prazo no setor dos transportes é um fator fundamental para o desenvolvimento sustentável do próprio sistema, da sociedade em geral e da resiliência mundial.

As emissões relacionadas com o transporte constituem um elemento significativo do aumento dos GEE. Mundialmente, o setor dos transportes representa 28 % do consumo final de energia e 23 % das emissões de CO₂ do setor energético mundial no ano de 2014. Na Europa, as emissões no ano de 2018 representavam valores 29 % acima dos valores de base de 1990 (aumentam todos os anos no período de 2014 a 2018), demonstrando que apesar do Protocolo de Quioto, em 2005, estipular limites para as emissões, a mitigação governativa conjunta representa-se como um eufemismo. Em Portugal, as emissões do setor dos transportes sofreram um aumento de 68 %, no período 1990 a 2017 e representaram 37,2 % do consumo final de energia. Verifica-se nos transportes rodoviários, uma representação de 95 % no total das emissões do setor dos transportes (DCLIMA, 2019).

Os estímulos do controle governativo no setor dos transportes têm, portanto, indiscutivelmente de ser fortes e coesos quando são necessárias iniciativas de controle para gerir as emissões de carbono. As estratégias para reduzir as emissões de GEE no setor dos transportes, absorvem o risco do fracasso se não existir concordância das *stakeholders* e uma avaliação que contemple a heterogeneidade do território e da população de forma a oferecer melhores meios para resolver as necessidades de mobilidade, para a particularidade de cada localidade ou região, incitando um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo.

Atualmente, o fraco nível de intermodalidade do sistema de transportes, a quota modal desequilibrada no transporte de passageiros, com forte prevalência do transporte particular e a quota modal desequilibrada no transporte de mercadorias, com forte prevalência do modo rodoviário traduz-se em mais emissões de poluentes locais (PETI3+, 2015).

A introdução de novas tecnologias ecológicas para mitigar todo o aumento exponencial de veículos individuais motorizados, seria uma mais-valia se, introduzida equitativamente pelas diversas economias mundiais, caso contrário, sem a implementação de tecnologias e políticas de mitigação agressivas e sustentadas, as emissões dos transportes podem aumentar a uma taxa mais rápida do que as emissões do outro qualquer setor.

Em Portugal, para o setor dos transportes e para a mobilidade, estão previstas alterações profundas, com grande penetração no veículo elétrico, levando a uma redução das emissões, em relação ao ano de 2005, de aproximadamente 41 % em 2030 e 60 % em 2040 (APA, 2019). Após 2020 esperam-se alterações profundas no perfil tecnológico dos transportes permitindo um decréscimo no consumo de energia, ainda que, os valores da procura por mobilidade de pessoas e de mercadorias aumente até 2050. Prevê-se uma crescente eficiência energética no setor dos transportes e a incorporação de energias renováveis de 35 % em 2030, 60 % em 2040 e 90 % em 2050 (APA, 2019).

A evolução tecnológica permite que os veículos elétricos compitam com os veículos de combustão já em 2020, como é o caso dos veículos comerciais ligeiros que normalmente efetuam serviços de curta distância. No caso dos veículos de passageiros, prevê-se que a mobilidade elétrica seja uma opção custo-eficaz a partir de 2030. A tecnologia mais competitiva é a dos veículos híbridos plug-in a gasolina que apresentam elevada eficiência e permitem assegurar o transporte de longa distância. É expectável que após 2030 a procura nacional por produtos refinados (gasolina e gasóleo) nos transportes diminua, levando à redução da atividade do setor da refinação (APA, 2012).

O futuro da mobilidade será sustentável, autónomo, elétrico e partilhado. Será um futuro em que os utilizadores terão maior poder para gerir a sua própria mobilidade, resultado do aumento da digitalização. No entanto, a alteração de paradigma não termina com a introdução da inovação tecnológica, é necessário um foco contínuo no transporte público e na alteração dos padrões de mobilidade para reverter as tendências de utilização do veículo particular em detrimento do transporte coletivo (PETI3+, 2015), sendo uma das medidas mais importantes a adotar para a descarbonização e eficiência energética.

O aumento da procura por serviços de transporte, por parte dos passageiros, deve ser assegurado com mais transporte coletivo equipado com tecnologia de baixa emissão, com a opção ampla de serviços

de partilha e com o objetivo inerente do aumento da expressão dos modos ativos na mobilidade de curta distância.

A alteração nos hábitos de consumo e poupança da sociedade (PETI3+, 2015) também não deve ser negligenciado, tanto em relação às decisões dos modos de transporte a utilizar, como na adoção de comportamentos mais eficientes, na promoção de uma condução ecológica e na utilização das novas tecnologias para induzir comportamentos sustentáveis na mobilidade.

A descarbonização da mobilidade está intimamente ligada aos modelos de organização territorial das cidades. Deve existir uma integração crescente das questões energéticas, ambientais e de ordenamento do território no planeamento e desenvolvimento do sector dos transportes (PETI3+, 2015), das atividades económicas e de lazer, individuais e coletivas, e as suas necessidades de mobilidade. As cidades são agentes ativos na descarbonização da economia, é essencial aproveitar essa dinâmica para criar cidades de baixo carbono.

A introdução de medidas de mitigação nos transportes, são transversais a diversos setores da sociedade. A introdução de novas políticas no setor dos transportes, beneficiam o próprio sistema, a competitividade da indústria, a melhoria das condições de vida dos cidadãos e a proteção do meio envolvente. Normalmente, a forma mais simples de resolver o problema é através da introdução de impostos que refletem o custo social e ambiental (Bell, *et al.*, 2003). Na prática, as medidas economicamente eficientes, tais como, os encargos aos utentes das estradas ou impostos sobre veículos motorizados (componente de CO₂ no imposto de matrícula e no imposto de circulação) podem ser difíceis de implementar por razões técnicas e políticas. As circunstâncias locais exigem soluções locais, e o sucesso das estratégias pode depender da forma como são projetadas (Bache, *et al.*, 2015). Compreender o sistema atual e a sua evolução, considerar diversas medidas de implementação, consultar as *stakeholders* e incluir mecanismos de controle e regulamentação, são pontos fundamentais para uma adequada tomada de decisão.

Neste sentido é possível distinguir uma série de medidas gerais e transversais, que envolvem o território, a energia e a sustentabilidade para a mitigação das alterações climáticas no setor dos transportes.

As medidas relacionadas com o território, enquadram-se na descarbonização das cidades, na promoção de projetos I&D que constituam suporte à transição para uma economia de baixo carbono, promoção do aumento da penetração de equipamentos e produtos mais eficientes através da renovação dos existentes, promover a utilização racional da energia junto dos consumidores finais e incentivar I&D+i no domínio da eficiência energética (Alcoforado, *et al.*, 2009).

Na energia, é necessário promover a descarbonização do sistema electroprodutor, acelerar a produção de eletricidade a partir de fontes renováveis de energia, incentivar o investimento na produção de biocombustíveis avançados, nomeadamente através da valorização dos resíduos e recursos endógenos, incentivar I&D+i, nomeadamente no domínio do armazenamento, hidrogénio e outros combustíveis 100 % renováveis e promover a alteração de hábitos de consumo (APA, 2019).

Nos critérios de sustentabilidade é fundamental reduzir a dependência do veículo particular através da redução do estacionamento junto das habitações, de medidas fiscais e restrições de trânsito que permitam a redução do congestionamento e através do aumento dos percursos verdes para modos ativos de transporte. Os carris dos elétricos devem ser construídos sobre solo permeável, as estações devem permitir interfaces com diversidade modal e as áreas limítrofes devem estar equipadas com grandes parques de estacionamento para promover a ligação da periferia ao centro da cidade em transporte público. Os utilizadores devem beneficiar de serviços de proximidade, todos os setores da economia devem ser eletrificados e devem existir sistemas de monitorização e serviços de alerta dos níveis de poluição e das fontes de poluição (PNPOT, 2019). O mercado automóvel deve ser apoiado com infraestruturas de abastecimento de combustíveis alternativos limpos e estimulado para a transição energética assente na eletrificação, nos biocombustíveis avançados e no hidrogénio (PETI3+, 2015).

4.9. Poluição atmosférica

Continuamente são emitidos poluentes para a atmosfera que podem prejudicar gravemente a saúde pública. A emissão destes poluentes dá-se por variadas fontes de emissão, quer naturais, como atividade vulcânica, a atividade biológica de animais e plantas, processos de decomposição e erosão dos solos e incêndios florestais, quer antrópicos, fontes de poluição associadas às atividades económicas, como o transporte de pessoas e bens, as atividades extrativa, industrial, agrícola e pecuária, os serviços e equipamentos e as atividades residenciais e domésticas (Watson, *et al.*, 1996).

Para facilitar a inventariação e tratamento espacial, as fontes emissoras podem ser classificadas como fontes pontuais, tratadas individualmente e caracterizadas segundo as suas dimensões ou como o contributo total das emissões de uma determinada área (centrais termoelétricas, indústria cimenteira), como fontes difusas, distribuídas de forma maioritariamente homogénea em determinada área, podendo incluir fontes de pequenas dimensões ou de difícil identificação (e. g., pequenas indústrias, edifícios,

infraestruturas e tráfego rodoviário urbano) e, como fontes em linha, normalmente associadas a grandes infraestruturas de transporte, sejam rodoviárias, ferroviárias, fluviais ou marítimas (Lopes, *et al.*, 2017).

De acordo com a sua origem, os poluentes podem classificar-se em primários e secundários. Os primários são diretamente emitidos pelas fontes emissoras, e. g., o monóxido de carbono³⁴ (CO) que, em áreas urbanas advém essencialmente do tráfego rodoviário, verifica-se as maiores concentrações em áreas com tráfego congestionado e, o dióxido de enxofre³⁵ (SO₂) que advém essencialmente da combustão fóssil em centrais térmicas (Alcoforado, *et al.*, 2009). Estes poluentes podem sofrer transformações e reações químicas na atmosfera e dar origem a poluentes secundários. O mais conhecido é o ozono (O₃) troposférico³⁶ que resulta da reação fotoquímica entre os compostos orgânicos voláteis não metânicos³⁷ (COVNM), que são emitidos através dos gases de escape dos veículos rodoviários ou por evaporação no momento da sua produção, armazenamento e utilização e, os óxidos de azoto³⁸ (NO_x) que surgem como produto secundário da queima de combustíveis fósseis emitidos principalmente por veículos motorizados e entre o CO e o CH₄, pelo que, as concentrações acompanham as variações do tráfego rodoviário e ocorrem maioritariamente sob a forma de monóxido de azoto (NO). Alguns destes gases não influenciam diretamente as alterações climáticas, mas afetam a formação ou destruição de outros GEE. Os CO, NO_x e COVNM são substâncias precursoras do ozono. O SO₂ produz aerossóis, que são partículas extremamente pequenas ou gotículas de líquido que também podem afetar as características de absorção da atmosfera (Almeida, *et al.*, 2010).

A divisão modal no transporte de passageiros terrestre não alterou muito na década 2010-2019 na UE28. O transporte de passageiros em viaturas particulares, domina com 83 % dos utilizadores,

³⁴ O CO provém essencialmente da combustão incompleta de combustíveis fósseis ou de outras matérias orgânicas, das erupções vulcânicas, os fogos florestais e da decomposição da clorofila. A exposição a concentrações elevadas de CO está associada à diminuição da perceção visual, capacidade de trabalho, destreza manual, capacidade de aprendizagem e desempenho de tarefas complexas. O CO intervém nos mecanismos de formação do azoto (N) troposférico. Na atmosfera, transforma-se em CO₂, contribuindo para o efeito de estufa.

³⁵ O SO₂ é emitido no momento da queima de combustíveis fósseis com um elevado teor de enxofre (carvão e fuelóleo) e em atividades geotérmicas naturais. As emissões provenientes dos veículos têm vindo a baixar com a diminuição progressiva do enxofre nos combustíveis. O SO₂ transforma-se em ácido sulfúrico no contacto com a humidade do ar e participa no fenómeno de formação das chuvas ácidas. A nível da saúde, provoca irritação dos olhos e problemas respiratórios.

³⁶ O O₃ troposférico é um poluente secundário formado pela reação das substâncias precursoras na presença de forte radiação solar. Trata-se de um poluente com forte poder oxidante que acelera a degradação dos materiais, promove a perda de produtividade da vegetação e o aumento da morbilidade e mortalidade da população exposta. Como é GEE, contribui para o aquecimento da atmosfera.

³⁷ Os COVNM compreendem compostos como os aldeídos (CHO), as cetonas e os hidrocarbonetos aromáticos monocíclicos, tais como, o benzeno (C₆H₆), tolueno, xilenos, correntemente designados por BTX. Destes compostos apenas o C₆H₆ é objeto de regulamentação. Estão incorporados na composição dos combustíveis, mas também, na de diversos produtos de uso corrente como as tintas, colas, cosméticos, solventes, detergentes de limpeza, de uso doméstico, profissional ou industrial. Os efeitos dos COV são muito variáveis, dependendo da natureza do composto, podendo variar de uma simples incomodidade olfativa até efeitos mutagénicos e carcinogénicos (provocados por compostos como o benzeno), passando por irritações diversas e por uma diminuição da capacidade respiratória.

³⁸ A combinação do azoto (N) e do oxigénio (O₂) do ar dá origem a compostos de fórmulas químicas diversas, agrupados sob a designação comum de NO_x. Os mais relevantes, como poluentes atmosféricos, são o monóxido de azoto (NO) e o dióxido de azoto (NO₂), embora apenas este último seja objeto de regulamentação. O NO₂ é um gás muito corrosivo e um forte oxidante, é também a principal fonte de nitratos, que constituem uma fração importante das partículas PM_{2.5}. O NO₂ em concentrações elevadas causa efeitos que vão desde a irritação dos olhos e garganta, até à afetação das vias respiratórias. O NO é um gás pouco tóxico, considerado como um poluente pouco perigoso. Os NO_x contribuem para o fenómeno das chuvas ácidas, para a eutrofização dos cursos de água e dos lagos, para a destruição da camada de O₃ estratosférico e para o efeito estufa.

contribuindo para o aumento do volume dos passageiros nos transportes terrestres. Os serviços de transportes ferroviário (8 %) e de transportes coletivos (9 %) constituem os transportes com menor procura por parte dos passageiros. No transporte de mercadorias, o setor marítimo domina com 85 % do volume total, seguido por comboio (11 %) (EEA, 2019).

Durante o período de 2000 a 2017, entre os modos de transporte de mercadorias, o transporte rodoviário foi o que aumentou mais (24 %). Os transportes continuam a ser fontes significativas de poluição, contudo, a mitigação da UE28 através da implementação de limites de emissões e requisitos para a qualidade dos combustíveis, permitiram a redução dos poluentes como os CO e COVNM em -75 %, o SO em -56 %, NO em -31 %, as partículas³⁹(PM) com um diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm (PM₁₀) em -35 % e com um diâmetro inferior a 2,5 µm (PM_{2,5}) em -44 % (EEA, 2019).

Em Portugal, no ano de 2017, (Gráfico 5) todas as emissões diminuíram relativamente a 1990. O SO₂ reduziu -85 %, o CO -57 %, o NO_x -38 % e os COVNM reduziram -33 %. No setor da energia, os transportes são os responsáveis pela maior parte das emissões de NO_x, aproximadamente 46 % do total de 2017. Apesar das tendências do rápido crescimento do setor de transportes (principalmente rodoviário) desde 1990, a introdução de novos veículos de motor a gasolina com catalisador e a introdução de regulamentos mais rigorosos sobre as emissões dos veículos a diesel, limitou o crescimento das emissões ou mesmo a sua diminuição. De facto, o crescimento das emissões dos transportes estabilizou e começou a declinar desde 2005. Nos anos mais recentes, a perspetiva inverteu, verificando-se um aumento nas emissões dos transportes após 2013. No período analisado (1990- 2017), as emissões de NO_x dos transportes diminuíram -24 % e as emissões de CO e COVNM registaram reduções de mais de -80 % (APA, 2019).

Depois de libertados para a atmosfera, os poluentes, sofrem um conjunto de processos físicos (transporte, atmosfera, dispersão e deposição) e químicos (transformação noutros compostos) que dependem das condições meteorológicas locais (intensidade e direção do vento, temperatura, humidade relativa, radiação solar) que variam constantemente no tempo. Assim, os picos de poluição atmosférica podem ocorrer em zonas relativamente distantes daquelas em que os poluentes são emitidos. A

³⁹ Partículas (PM) são um conjunto complexo de substâncias, minerais ou orgânicas, que se encontram em suspensão na atmosfera, sob a forma líquida ou sólida. As partículas com um diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm (PM₁₀) são as mais nocivas pois penetram no aparelho respiratório, podendo as mais finas, de diâmetro inferior a 2,5 µm (PM_{2,5}), atingir os alvéolos pulmonares e interferir nas trocas gasosas. A exposição crónica a partículas contribui para o risco de desenvolvimento de doenças respiratórias, cardiovasculares e cancro de pulmão. São emitidas para a atmosfera a partir de uma gama variada de fontes antrópicas e naturais. Em zonas urbanas os transportes rodoviários são considerados a maior fonte emissora de partículas, observando-se as maiores concentrações na proximidade de vias de tráfego intenso. Estas substâncias são consequência das emissões diretas do escape dos veículos, mas também, provenientes do desgaste dos pneus e dos travões e da ressuspensão das poeiras das estradas. Em geral, os veículos a gasóleo emitem uma quantidade maior de partículas finas do que os veículos a gasolina.

velocidade do vento é um fator determinante nas condições de dispersão dos poluentes, pois determina a produção de turbulência mecânica, que é responsável pela dispersão local (Lopes, *et al.*, 2017).

Os efeitos da exposição aos poluentes atmosféricos na saúde, dependem essencialmente da concentração de poluentes na atmosfera e do tempo de exposição, podendo, e. g., exposições prolongadas a concentrações baixas serem mais nocivas do que exposições de curta duração a concentrações elevadas. Os efeitos também dependem de fatores de sensibilidade dos indivíduos, que determinam a maior ou menor severidade, tais como, idade, estado de saúde ou predisposições genéticas, o que dificulta a avaliação dos efeitos dos poluentes na saúde individual (Lopes, *et al.*, 2017).

Nos aglomerados populacionais, é fundamental combinar medidas de mitigação e adaptação às alterações climáticas globais com medidas de mitigação dos fenómenos climáticos urbanos considerados nocivos, nomeadamente ilhas de calor⁴⁰. Note-se que muitas das medidas de adaptação têm efeitos simultaneamente nas escalas regional e local, podendo, em certos casos, funcionar também como medidas de mitigação das alterações climáticas. Muitas dessas medidas têm também outros benefícios a nível ambiental, social e económico, e. g., o aumento da área ocupada pela vegetação arbórea tem benefícios óbvios na mitigação das emissões de CO₂ e no aparecimento de ilhas de calor, mas também, na adaptação, com áreas frescas para o conforto dos cidadãos e redução do consumo energético, com o arrefecimento dos edifícios de proximidade, tendo ainda, consequências positivas adicionais em termos de biodiversidade, do comportamento hidrológico, aumentando as áreas de infiltração e dos aspetos sociais, culturais e até, em certos casos, económicos (Alcoforado, *et al.*, 2009).

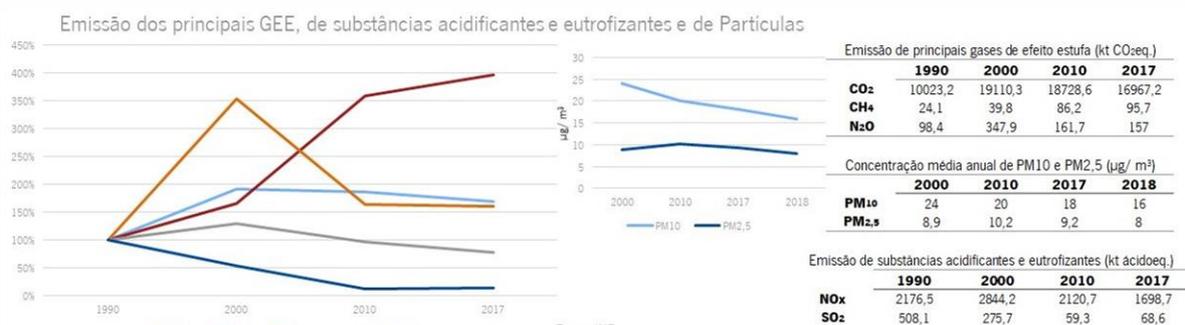


Gráfico 5 – Emissão dos principais gases de efeito estufa (ktCO₂eq.), substâncias acidificantes e eutrofizantes (kt ácidoeq.) e concentração média anual de partículas PM10 e PM2,5 (µg/ m³) (APA, 2019).

⁴⁰ Devido às modificações dos balanços radiativo e energético no espaço urbano, ocorre frequentemente uma ilha de calor. Esta corresponde às áreas do interior da cidade, em que a temperatura da superfície e do ar é mais elevada do que a dos arredores próximos, formando como que uma ilha mais quente, rodeada de áreas mais frias.

4.9.1. O ar e a saúde pública

A descarbonização dos transportes envolve múltiplos benefícios, visto ser o setor com influência significativa na poluição global e local, contribuindo para a degradação do ambiente e da saúde pública. Especificamente, o transporte é uma das principais fontes de PM, concentrações de O₃ e NO₂, principais causadores de mortes prematuras. Em 2015 verificaram-se 114.000 mortes na China e 74.000 na Índia, num total de 385.000 mortes (UN, 2019). Com a projeção do número de veículos motorizados a duplicar até 2040, os custos com a mortalidade prematura certamente aumentarão nestes países. Contudo, as soluções elétricas apresentam possíveis realidades, nomeadamente na Índia, através de veículos elétricos de duas e três rodas que permitiria revitalizar o mercado interno sem danificar o ambiente e a saúde pública (UN, 2019), no entanto, o transversal setor energético teria de evoluir ao mesmo tempo.

As emissões relacionadas com combustíveis fósseis representam dois terços da mortalidade atribuível à poluição do ar exterior. Uma eliminação global de combustíveis fósseis poderia evitar mais de cinco milhões de mortes prematuras por ano, se outros GEE antrópicos, incluindo emissões não fósseis da agricultura e da indústria, também fossem controladas. As doenças crónicas respiratórias são a principal causa de morte prematura em todo o mundo. Constituem um problema de saúde pública, estimando-se que existem em todo o mundo cerca de 300 milhões de asmáticos, 210 milhões doentes com doença pulmonar obstrutiva crónica e 400 milhões com rinite alérgica. A poluição atmosférica está associada a uma grande variedade de efeitos, como a mortalidade e a morbilidade, causadas por infeções respiratórias, intoxicações, doenças respiratórias, doenças cardiovasculares e cancro. Na Europa e em Portugal os problemas estão sobretudo associados às doenças cardiovasculares seguidas das doenças respiratórias (Lopes, *et al.*, 2017).

O ser humano respira cerca de 15 Kg de ar por dia. Respirar ar de qualidade é tão importante como beber água potável ou ter uma alimentação saudável. Durante o dia, os indivíduos estão expostos a poluentes atmosféricos tanto em ambientes exteriores como em ambientes interiores. A população, principalmente a urbana, passa cerca de 85 % do seu tempo em ambientes interiores, como a habitação, escola, escritórios, fabricas, locais comerciais ou administrativos e a mobilidade é concretizada através de veículos coletivos ou particulares aumentando o tempo em espaços interiores (Lopes, *et al.*, 2017).

A exposição é um fator relevante para a saúde, uma vez que depende dos perfis de atividade, tempo e da qualidade do ar nos microambientes ou de processos atmosféricos complexos que afetam a qualidade do ar interior como a infiltração ou as fontes internas de poluição.

A população continua a aumentar e a migrar para as cidades, irreversivelmente na procura de estabilidade económica, criando mais consumo e conseqüente extração de novos recursos, produção de novos bens de consumo que normalmente são associados a mais emissões.

Considerando o surgimento de novos poluentes derivados da inovação tecnológica e os poluentes secundários resultantes da associação de vários compostos, com o ritmo frenético do mundo proporcionado pelo sistema de transportes. Em 1908, aquando do lançamento do Ford modelo T, o primeiro automóvel produzido em série numa linha de montagem, a visão de Henry Ford era de que cada família americana deveria ter o seu próprio veículo. O seu contemporâneo, Oliver Parker Fritchle, lançava, A Victoria Phaeton, um carro elétrico de 1908 que prometia 160 Km de autonomia com apenas um carregamento. As motorizações evoluíram em simultâneo com as prospeções petrolíferas, a tecnologia elétrica estagnou e, depois de eventos similares em 1953 e 1963, *New York city*, em 1966 viveu o maior evento de poluição atmosférica da história, levando à implementação do alerta geral para o perigo da saúde pública e a proibição da utilização dos veículos motorizados particulares para as deslocações do quotidiano. A ironia popular já se questionava se a cidade iria conseguir manter a proibição, visto a influência económica que a General Motors exercia na sociedade americana.

No presente, o paradigma persiste, um veículo para cada família, é uma realidade e, um veículo para cada indivíduo, encontra-se muito próximo. A I&D é o cerne da economia e a promessa do sucesso e sustentabilidade das cidades do futuro, os veículos elétricos pertencem a um nicho próspero em harmonia com a condução autónoma e a inteligência artificial, contemporâneo dos alarmes constantes do esgotamento das reservas de petróleo e as alterações climáticas que introduzem um parâmetro capital na sobrevivência humana e que elegem os interesses qualitativos em critério dos interesses quantitativos. De facto, as evoluções tecnológicas permitiram manter a capitalização do sistema económico e prometem transformar as dificuldades em oportunidades para todas as civilizações atentas às novas oportunidades. Contudo, apesar da crescente importância das energias renováveis, o presente ainda é dependente do petróleo e dos combustíveis fósseis e, a combustão, principalmente associada ao setor rodoviário, continua a ser a principal fonte de poluentes e causa de poluição atmosférica nas cidades portuguesas. A participação ativa e responsável do cidadão é o cerne para a criação de um novo paradigma, devidamente auxiliado pela educação, informação e sensibilização. A qualidade do ar é um direito e a preservação um dever global.

4.10. Evolução tecnológica

A transição para uma mobilidade de baixo carbono é um componente essencial para as novas economias poder manter a competitividade e dar resposta à crescente necessidade de mobilidade de pessoas e mercadorias protegendo o ambiente.

O grande mitigador das emissões de gases poluentes nos veículos motorizados é a incorporação de catalisadores⁴¹ nos veículos. No entanto, o catalisador é um auxiliar potenciador de reações, e assim, como outros equipamentos, degrada-se com o tempo, devendo quando necessário, ser substituído. Os gases de escape dos motores a gasolina contêm NOx, CO⁴² e Hidrocarbonetos⁴³ (HC) como principais gases contaminantes (1,0 % do total dos gases de escape). Os motores a gasóleo emitem uma proporção maior de NOx, menor quantidade de HC, mas emitem partículas sólidas que representam cerca de 0,4 % da massa do combustível. O catalisador pode reduzir as emissões poluentes em cerca de 90 %, contudo, para atingir estas condições, deve atingir uma temperatura normal de funcionamento, o que acontece, após percorridos 4 km. Deve ter uma manutenção periódica e bem efetuada, caso contrário, se apenas 10 % dos veículos apresentarem manutenções defeituosas, é suficiente para a emissão de 50 % do total dos poluentes atmosféricos. Todos os veículos, bem ou mal afinados, emitem CO₂. Ao efetuar a combustão de um litro de combustível, emitem cerca de 2,8 kg de CO₂ (ADENE, ACAP, IMT, 2019).

Atualmente, e a um ritmo acelerado, a Europa e o Mundo encontram-se em plena transição, que se pretende irreversível, para a mobilidade hipocarbónica. O petróleo satisfaz 94 % das necessidades energéticas do setor dos transportes da UE28, verificando-se, a energia alternativa com baixo nível de emissões como uma oportunidade para a inovação e para a redução da dependência da Europa e principalmente de Portugal em relação ao petróleo importado.

Nos combustíveis alternativos⁴⁴, a eletricidade, o hidrogénio, os biocombustíveis, o gás natural e o gás de petróleo liquefeito (GPL) foram considerados como os principais combustíveis alternativos com potencial para substituir o petróleo a longo prazo, considerando também, a eventual utilização em simultâneo e combinada, nomeadamente através de sistemas de tecnologia biocombustível.

⁴¹ O catalisador é uma espécie de filtro, constituído por material cerâmico, com elementos químicos que acelerar a velocidade da reação química no seio dos gases de escape.

⁴² O CO é um gás tóxico e asfíxiante produzido pela combustão incompleta.

⁴³ Os HC englobam componentes do combustível e dos óleos lubrificantes que saem do motor sem serem queimados.

⁴⁴ Combustíveis alternativos, são combustíveis ou fontes de energia que servem, pelo menos em parte, como substitutos das fontes de petróleo fóssil no fornecimento de energia para os transportes e que têm potencial para contribuir para a sua descarbonização e para melhorar o desempenho ambiental do setor dos transportes, incluem, a eletricidade, o hidrogénio, os biocombustíveis, os combustíveis sintéticos e parafínicos, o gás natural, incluindo o biometano, em forma gasosa, gás natural comprimido (GNC) ou em forma liquefeita, gás natural liquefeito (GNL) e o gás de petróleo liquefeito (GPL).

Os combustíveis sintéticos, que substituem o gasóleo, a gasolina e o combustível para a aviação, podem ser produzidos a partir de diferentes matérias-primas e convertem a biomassa, o gás, o carvão ou os resíduos de plásticos em combustíveis líquidos, metano e éter dimetilico.

Os gasóleos parafínicos sintéticos, tais como, os óleos vegetais sujeitos a tratamento por hidrogénio e o gasóleo obtido pelo processo *Fischer Tropsch*, são fungíveis e podem ser misturados no gasóleo fóssil em percentagens de mistura bastante elevadas, ou utilizados puros em todos os veículos a gasóleo existentes ou futuros. Por conseguinte, esses combustíveis podem ser distribuídos, armazenados e utilizados com recurso à infraestrutura existente (Diretiva 2014/94/UE, 2014).

Os combustíveis sintéticos que substituem a gasolina, como o metanol e outros álcoois, podem ser misturados com gasolina e ser tecnicamente utilizados com a atual tecnologia automóvel, mediante pequenas adaptações. O metanol também pode ser utilizado nos transportes aquáticos interiores e no transporte marítimo de curta distância. Os combustíveis sintéticos e parafínicos podem reduzir potencialmente a utilização das fontes de petróleo no fornecimento de energia para os transportes.

O GPL ou autogás é um combustível alternativo, derivado da refinação do petróleo e da transformação do gás natural, com uma pegada ecológica menor e um nível de emissões poluentes significativamente mais reduzido do que os combustíveis convencionais. O GPL pode ser utilizado no transporte rodoviário em todo o tipo de distâncias. O metanol também pode ser utilizado nos transportes aquáticos interiores e no transporte marítimo de curta distância (Diretiva 2014/94/UE, 2014).

As regiões e as cidades serão os principais intervenientes no fornecimento de soluções de mobilidade hipocarbónica, perto do local onde os problemas mais se fazem sentir e, em última análise, as opções comportamentais dos utilizadores determinarão o tipo de energias mais utilizada.

4.10.1. Mobilidade elétrica

Nos países do G20 verifica-se um aumento da venda de veículos elétricos (VE) desde o ano de 2010, apresentando vendas superiores a 5 milhões de unidades no final de dezembro de 2018, equivalente a uma participação no mercado automóvel de 2,1 %. A China detém o maior parque automóvel de VEs com mais de 2,2 milhões de unidades, enquanto a Noruega lidera na percentagem de vendas de VE novos, atingindo 60 % do total de vendas (European Commission, 2016).

Segundo o INE, Portugal registou um elevado crescimento nos veículos ligeiros de passageiros e de mercadorias elétrico puro, de 42 veículos em 2010 para 10.580 em 2018 e com uma representação no parque automóvel de 0,16 % (Gráfico 6) (INE, 2010-2018).

A mobilidade elétrica é um fator determinante para assegurar a substituição progressiva dos combustíveis fósseis no transporte rodoviário contribuindo para uma efetiva redução das emissões de GEE. Assim, é importante promover e apoiar a mobilidade elétrica, através do incentivo à introdução no mercado de VEs e do reforço das infraestruturas de carregamento. Portugal disponibiliza, desde 2015, incentivos à aquisição de VE puros, como o apoio à aquisição no valor de 2250 €, bem como, as isenções de imposto sobre veículos, tributação autónoma e imposto único de circulação (IUC) (APA, 2019).

Os modelos contemporâneos de mobilidade urbana estão a ser levados ao limite da inovação. A mobilidade do futuro, que já se encontra em plena fase de testes e de melhoria, promete um futuro promissor para os VE puros.

A pioneira na revolução do Táxi Aéreo Urbano, a Volocopter, encontra-se a desenvolver o táxi aéreo para as necessidades de mobilidade das grandes cidade e conurbações, iniciando um novo conceito de mercado, a mobilidade aérea urbana, que, no entanto, já se encontra bem demarcada no quotidiano de São Paulo, no Brasil, que apresenta a maior concentração de tráfego aéreo privado do mundo. Um novo mercado que promete fazer as delícias dos grandes empresários e da logística de valor acrescentado, com viagens para duas pessoas, inicialmente com piloto, posteriormente veículo autónomo, rápidas (velocidade de 80 a 100 km/h), livre de congestionamento e com um alcance de mais de 30 km. Os veículos apresentam valores de ruído de 65 dB(A) em pleno voo a uma distância de 75 m e de 75 dB(A) na aterragem a uma distância de 30 m. A Volocopter prevê uma entrada no mercado em 2025 com três cidades e projeções de 98 cidades no horizonte de 2050 (Volocopter, 2020).

A cidade de Lund, na Suécia, prepara-se para ver nas ruas um novo conceito de *Electric Road*, em uma rota de teste implementada no decorrer de 2020. A Solaris Sverige AB, representante da Polish Solaris Bus & Coach no mercado sueco, participa do projeto EVolution Road, que pretende a criação de uma estrada elétrica que deteta e carrega automaticamente os VEs. A estrutura viária utiliza um sensor para identificar os VE que pretendem efetuar o carregamento, aciona o trilho instalado no pavimento que, em contacto com um braço de carregamento do VE dá início ao carregamento do veículo parado ou em andamento (Solaris, 2020).

Na Alemanha, já se encontra em funcionamento, um troço de 10 Km no sul de Frankfurt, na autoestrada A5, uma autoestrada elétrica, que conecta veículos pesados híbridos a cabos aéreos

suspensos, permitindo o carregamento enquanto os veículos circulam pelas vias principais. O sistema foi desenvolvido pela Siemens e os veículos pesados são da Scania, unidade da Volkswagen (wiwo, 2020).



Gráfico 6 - Número de veículos elétricos puros, híbridos plug-in e não plug-in matriculados em Portugal no período de 2010 a 2018 e Caracterização do mercado de veículos elétricos no ano de 2018 (INE, 2010-2018).

4.10.2. Carregamento wireless de veículos elétricos

O grande paradigma encontra-se na tecnologia *wireless* já existente e em desenvolvimento que promete revolucionar o futuro dos VE puros através da transferência de energia, conhecida por transferência de energia *wireless* (TEW). Em 1888, Heinrich Hertz, demonstrou a propagação de ondas eletromagnéticas no espaço com um aparelho para gerar faíscas elétrica de alta frequência e detetá-las na plataforma recetora. Nikola Tesla, em 1893, em Chicago, demonstrou que conseguia acionar lâmpadas fluorescentes com energia *wireless*. Qualquer elemento condutor que detenha um fluxo de corrente elétrica gera um campo magnético (Patil, *et al.*, 2018). Apenas no final do séc. XX a tecnologia TEW obteve avanços significativos, entre as principais empresas investigadoras encontra-se a WiTricity, Conductix-Wampfler, Momentum Dynamics, Bombardier e Qualcomm.

A Qualcomm detém a patente de *pad* magnéticas polarizadas *Double D* capaz de fornecer o dobro da potência nominal a trabalhar em 20 kHz, com maior eficiência em comparação com os *pads* circulares (Gilbert, *et al.*, 2012).

A tecnologia *wireless* de carregamento de veículo elétrico (CWVE) utiliza o princípio da indução magnética para carregar a bateria de um VE sem a utilização de fios. A energia é transferida entre uma unidade de carregamento de base, instalada na superfície do pavimento e a unidade de carregamento do VE instalada na parte inferior do VE. O CWVE parece bastante simples, no entanto, na prática, é um

desafio desenvolver sistemas que ofereçam operação flexível e estacionamento fácil para uma ampla gama de veículos. Muitos dos sistemas atualmente desenvolvidos para a indústria automóvel exigem uma alimentação precisa dos dois elétrodos de carregamento e, em alguns casos, os elétrodos devem estar muito próximos ou juntos para alcançar as taxas de eficiência necessárias de transferência de energia. Em qualquer carregamento *plug-in*, a eficiência depende dos componentes eletrônicos (diodos, transistor, resistências, bobinas), do comprimento dos cabos de alimentação juntamente com a tensão, a frequência de conversão e o fator de potência elétrica. A eficiência dos carregamentos *plug-in* normalmente está na faixa de 85 % a 95 %, em alguns casos 80 %. Assim, o carregamento *wireless* precisa fornecer eficiência de transferência de energia acima de 90 % para ser comparável ao *plug-in*.

A Qualcomm adquiriu a tecnologia da HalolPT, uma empresa de subprodutos (*spin-off*) da Universidade de Auckland. O sistema de CWVE da Qualcomm Halo, concretiza mais de 90 % de eficiência na transferência de energia, com um aumento na eficiência à medida que a potência aumenta de um sistema de 3,7 kW (13 horas de recarga em baterias de 44 KWh) para 7,4 kW (6,5 horas), 11 kW (4,5 horas) e 22 kW (2 hora). Soluções de transferência de energia mais altas são mais eficientes porque a taxa de perdas permanentes em relação à energia fornecida melhora (Gilbert, *et al.*, 2012).

A ausência do cabo *plug-in*, como a grande diferença e primordial requisito para a introdução no mercado e adoção em massa dos VEs, a Qualcomm Halo introduziu a capacidade de manter alta eficiência nas recargas mesmo com os *pads* desalinhados. A arquitetura patenteada de CWVE da Qualcomm Halo é altamente tolerante ao desalinhamento dos *pads* de carregamento nos planos lateral e vertical, mantendo os níveis de energia necessários e a eficiência da transferência acima de 90 %, através da bobina que cria um *flux pipe* magnético entre os dois *pads* (Gilbert, *et al.*, 2012).

Baseado na tecnologia CWVE que permite o carregamento dos VE imóveis, a Qualcomm Halo Dynamic, permite o carregamento dinâmico de veículos elétricos (CDVE) em andamento. Em parceria com a FIA, foi testado, com sucesso, no campeonato de Fórmula E, o CDVE capaz de efetuar um carregamento dinâmico acima de 100 km/h com 20 kW de energia. Melhor ainda, o carregamento foi efetuado com dois VE em simultâneo (Qualcomm, 2017).

A UE28 já se encontra no terreno e, através do projeto Feasibility Analysis and Development of On-Road Charging Solutions for Future Electric Vehicles (FABRIC) e um investimento de nove milhões de euros, aborda a viabilidade tecnológica e económica e a sustentabilidade socioambiental do CDVE.

Os testes (Figura 6), que se encontram em execução, para avaliar o alcance do CDVE, promovem a transferência de 10 kW, de um máximo de 20 kW de energia, pelo ar para dois *pads* do VE. O conversor de corrente AC-DC fornece DC para o equipamento principal de abastecimento de energia (*Backbone*),

que converte em *low frequency* (LF) de 85 KHz para distribuir pelos controladores de base (*Base Controller*) que se encontram por baixo da pista que, por sua vez, trocam a energia com os *Base Pads* na superfície da pista. Os *Base Controller* e os *Base Pads* transferem o campo magnético para o VE, que se encontra a uma velocidade máxima de 120 Km/h e com uma tolerância de alinhamento de aproximadamente 20 cm. O VE captura o campo magnético através de dois *pads*, que convertem em voltagem (V) e corrente (A) para a unidade de controle transferir para a bateria (Qualcomm, 2017).

Um estudo no Reino Unido sugere que 77 % das viagens com VE duram menos de vinte minutos, os VE estão estacionados 92 % do tempo, os condutores recarregam quando o nível da bateria indica entre 81 % e 87 % e as recargas são predominantemente efetuadas em casa de manhã ou ao entardecer. As estatísticas relegam as recargas para as habitações, contudo, o desaparecimento de um dissuasor, o cabo *plug-in*, atribui ao VE um novo atrativo e um potencial de vendas massificadas (Gilbert, *et al.*, 2012).

Neste sentido, a oportunidade de capitalização, derivado do aumento do volume de VE e a inexistência de estacionamento particular em todas as habitações, possibilita novas opções na gestão das infraestruturas públicas.

Os inconvenientes para o condutor, na habilidade no estacionamento para adquirir posição adequada para efetuar recargas, desapareceram e, a introdução do CDVE possibilitará um futuro em que o VE não necessita de estar parado para recarregar, portanto, uma série de recargas adicionais em plena via pública, promovendo alterações comportamentais entre recargas e de gestão de baterias.

Constata-se uma oportunidade para as infraestruturas rodoviárias e a possibilidade de otimização dos pavimentos de asfalto, que concretizam uma elevada ocupação do espaço e impermeabilização do solo, produzindo um conforto adicional para os utilizadores e uma rentabilização adicional para o sistema de transportes terrestre.

Em relação às bicicletas elétricas (BE), particulares ou de empresas de partilha, poderiam beneficiar com a introdução de diversos parques de estacionamento com suportes para carregamento espalhados por pontos estratégicos nas cidades. As BE estão equipadas com um motor elétrico para propulsão e uma bateria para alimentar o motor. Com os avanços tecnológicos, novos materiais, como o níquel cádmio, níquel hidreto metálico e ião lítio, são usados na construção das baterias para proporcionar unidades mais leves e com maior capacidade de armazenamento de energia.

A tecnologia TEW é utilizada em várias aplicações, como movimento de materiais, iluminação, carregamento de baterias e até implantes biomédicos. O sistema típico da TEW baseia-se numa fonte de alimentação, que fornece uma corrente constante de LF para um *pad*. Os *pick-ups*, únicos ou múltiplos, são conectados a este *pad* através de campos magnéticos que envolvem os fios condutores. As bobinas

são normalmente ajustadas para aumentar a ressonância do fluxo de energia, por isso, são reguladas para transferir a energia para as baterias. A maior parte das BE utiliza uma bateria de 36 V e 10 A. A bateria pode ser recarregada com uma fonte de alimentação TEW que forneça uma frequência de 38,4 kHz. Dependendo dos requisitos de energia, a entrada para a fonte de alimentação pode ser monofásica ou trifásica (Zhi, *et al.*, 2015).

Com as estações de carregamento configuradas em áreas públicas, os utilizadores podem recarregar facilmente as suas BE. Estas estações permitem que os utilizadores viajem com tempos de recarga mais curtos e distâncias mais longas, permitindo a recarga em cada estacionamento de destino para manter a bateria com energia, portanto, as baterias podem ser menores e assim diminuir o peso da bicicleta. As empresas de *bikesharing* ou *scootersharing*, que atualmente contratam os *juicers* para recolher o equipamento, carregar e recolocar nos parques de partilha, passavam a deter um serviço autónomo com períodos mais alongados de manutenção de equipamentos e os particulares obtinham mais disponibilidade de estacionamento e facilidade de recarga. A introdução de modos ativos de transporte na logística de *last mile* encontrava um aliado na concretização da sustentabilidade urbana.

Os *pick-up* da TEW instalados nas BE podem atuar como carregador de bateria, e assim, qualquer bicicleta pode ser recarregada em qualquer estação, desde que, seja capaz de se conectar ao primário. Para carregar a bateria de uma BE, pode ser usado um sistema individual, onde uma pista primária fornece energia a um *pick-up* instalado dentro da BE. Este sistema é bastante conhecido, mas pode ter um custo elevado, dado o número de unidades necessárias para carregar várias bicicletas ao mesmo tempo. Para efetuar este tipo de carregamento, o preferível será um sistema que efetue vários carregamentos através de uma única fonte de energia, reduzindo o custo geral do sistema.

No entanto, existe uma desvantagem, se algum dos suportes das bicicletas estiver vazio, os campos magnéticos gerados nesse local são transmitidos para o meio ambiente e para os seres humanos. Uma possível solução passa pelo uso de uma fonte de alimentação primária que utilize vários inversores (Figura 6). Os inversores⁴⁵ são conectados por uma ligação DC comum a partir de um barramento DC primário e produzem uma corrente constante para vários *pads*, alimentando os respetivos *pick-ups*. Este método permitiria a cada inversor controlar a energia fornecida ao secundário e desligar quando o secundário não estiver presente, resolvendo o problema da radiação magnética (Zhi, *et al.*, 2015).

⁴⁵ Lei de Faraday-Lenz, se um campo magnético variável atravessar um condutor, induz uma força eletromotriz no condutor. O modo de transferência de energia indutivo utiliza o campo magnético entre condutores para efetuar a transferência.

Apesar do grande potencial de conversão de veículos de duas rodas para VE, o mercado de VE de duas rodas é ainda algo incipiente. Importa promover, financeiramente ou através de medidas de discriminação positiva a utilização deste segmento de VE (APA, 2019).

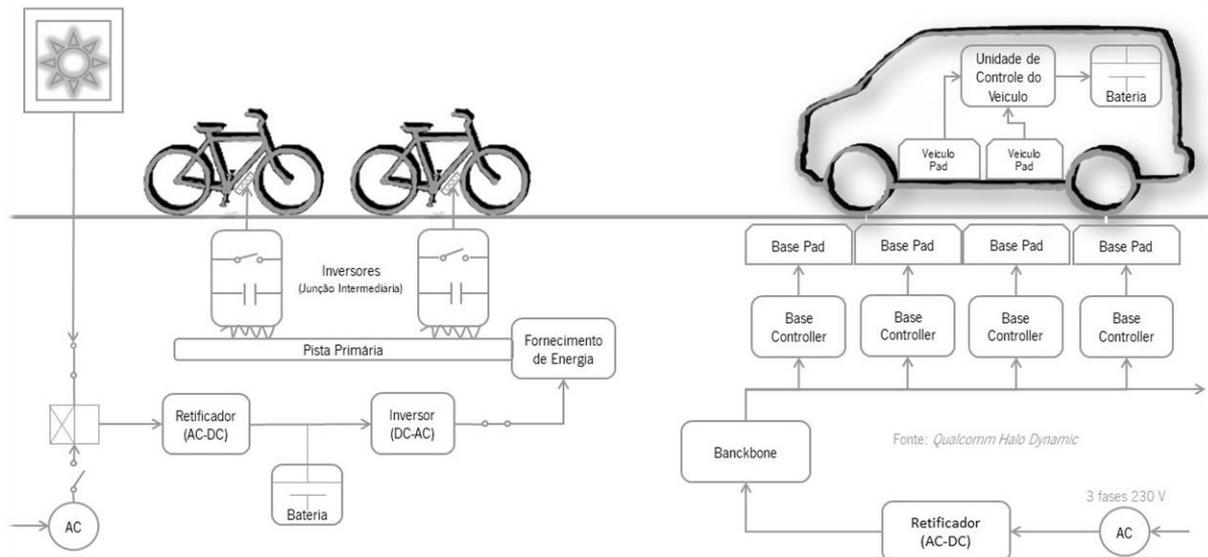


Figura 6– Parque de recarga de bicicletas elétricas com transferência de energia wireless e integração da reutilização de baterias de VE alimentadas por painéis fotovoltaicos e geridas por UPS e Tecnologia patenteada da Qualcomm Halo Dynamic (Zhi, *et al.*, 2015 e Qualcomm, 2017).

5. MONITORIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTES

O aumento da procura, em relação à oferta limitada de infraestruturas, as quais, comportam investimentos avultados na construção e manutenção, persuade a implementação de estratégias que promovam a utilização mais eficiente do sistema de transportes terrestre.

Os sistemas de transporte inteligentes (STI) permitem reduzir o tempo de viagem, atrasos e congestionamento, melhorar a segurança e reduzir as emissões de poluentes, num sistema que combina as tecnologias de análise e controlo de tráfego com a engenharia dos transportes para benefício dos utentes e *stakeholders* do sistema de transportes. Os utentes beneficiam com a informação específica disponibilizada e os *stakeholders* que abarca a maior parte dos agentes económicos mundiais, beneficiam com a capacidade de aperfeiçoamento dos processos de monitorização, planeamento de rotas, controlo de fluxos e acesso a informação específica em tempo real.

A perspetiva do planeamento estratégico para o futuro procura uma gestão holística da mobilidade que contempla uma interoperabilidade do sistema que satisfaça as necessidades da heterogeneidade social.

Os aplicativos de STI para sistemas de gestão de tráfego, sistemas avançados de informação para viajantes, operações de logística e sistemas avançados de transportes públicos, são auxiliados por uma rede de sensores de tráfego que fornecem deteção de veículos motorizados e não motorizados, deteção de incidentes, controlo de sinais em tempo real, dados de arquivo e informação para viajantes, serviços comerciais e informações de emergência.

Um sensor é um transdutor que deteta uma característica do ambiente envolvente e que fornece uma saída correspondente, geralmente na forma de um sinal elétrico ou ótico, relacionado com a quantidade da variável medida (Liñán, *et al.*, 2016). Os sensores para fluxos de tráfego motorizado e não motorizado desenvolvem-se através de propriedades subtis, como o som (sensores acústicos), opacidade (sensores óticos, infravermelhos e processadores de imagem de vídeo), geomagnetismo (sensores magnéticos, magnetómetros), reflexo da energia transmitida (sensores radar de laser infravermelho, de ultrassons e radar de micro-ondas), indução eletromagnética (detetores *inductive loop*) e de vibração (sensores sísmicos, interruptores de inércia e *triboelectric*) (FHWA, 2016).

A tecnologia utilizada para detetar o tráfego determina os dados que são processados. As centrais de processamento conectadas interpretam o sinal através de algoritmos adequados. A recolha e o processamento de dados de tráfego, como a presença do veículo, velocidade, quantidade, espaços vazios

e taxa de ocupação, é realizada através de sensores que podem ser intrusivos (superfície do pavimento) ou não intrusivos (sobre e na lateral da estrada).

Para uma mobilidade *smart* ubíqua e conectada, os sensores do interior do veículo que recolhem dados sobre as condições do veículo e do condutor desenvolveram-se e incorporam a sensorização do meio ambiente envolvente, intrínseca a veículos autónomos e à tecnologia *light detection and ranging*⁴⁶ (LIDAR), para a partilha de dados, armazenamento e obtenção de informação cada vez mais refinada para garantir a segurança dos condutores e utilizadores do sistema de transportes terrestre.

5.1. Função de monitorização

A introdução da função de monitorização no planeamento dos transportes permite a recolha regular de dados e facilita todas as etapas da estrutura de tomada de decisão numa metodologia de planeamento contínuo. Um sistema de monitorização deve fornecer dados específicos com qualidade para identificar alterações de comportamento dos utilizadores ao longo do tempo e de variáveis exógenas, como o crescimento demográfico e económico.

A implementação de sensorização que permita a monitorização, permanente ou provisória e que disponibilize dados periódicos ou em tempo real, possibilita a realização de estudos com amostras significativas e a disponibilidade de dados contínuos que aumentam significativamente a qualidade e quantidade da informação disponibilizada aos utilizadores, assim como, para que as equipas de planeamento possam definir com maior eficiência as estratégias para o futuro desejado. Neste sentido, descontinuidades no sistema de transportes, como greves nos transportes coletivos, preço dos combustíveis ou obras nas vias rodoviárias, que alteram temporariamente as características da rede de mobilidade, produzem uma fonte importante de informações para as previsões dos fluxos de tráfego.

A monitorização do sistema de transportes é uma função determinante para o planeamento dos transportes e para a elaboração das diretrizes de programas setoriais⁴⁷ de ordenamento do território que

⁴⁶ *Light detection and ranging* (LIDAR), também conhecido como digitalização 3D a *light amplification by stimulated emission of radiation* (LASER). O LIDAR, desde 1960, que é utilizado para medir distâncias, com alta precisão, através da aplicação da iluminação laser e cálculo do tempo de recessão do eco dos objetos ou espaço alvo.

⁴⁷ Os programas setoriais são instrumentos programáticos ou de concretização das diversas políticas com incidência na organização do território, nos domínios da defesa, segurança pública, prevenção e minimização de riscos, ambiente, recursos hídricos, conservação da natureza e da biodiversidade, transportes, infraestruturas, comunicações, energia e recursos geológicos, cultura, saúde, habitação, turismo, agricultura, florestas, comércio e indústria (art.º 39º, (RJIGT, 2015).

visam estratégias de desenvolvimento social e económico. A produção de dados, através de sistemas integrados com dispositivos de baixo custo e com manutenção reduzida permite uma monitorização contínua e sustentável que promove nos tradicionais planos territoriais⁴⁸ uma interatividade com novos formatos e dinâmicas de atualizações regulares.

5.2. Serviços de sistemas de transporte inteligentes

Os sistemas de transporte inteligentes (STI) são aplicações avançadas que, sem serem dotadas de inteligência, destinam-se a prestar serviços inovadores no âmbito dos diferentes modos de transporte e de gestão do tráfego, permitindo uma melhor informação dos utilizadores e a utilização mais segura, mais coordenada e mais inteligente das redes de transporte. Os STI combinam as telecomunicações, a eletrónica e as tecnologias da informação com a engenharia dos transportes para planear, criar e gerir os sistemas de transportes (Diretiva, 2010).

A aplicação das tecnologias da informação e comunicação (TIC) no sector dos transportes rodoviários e nas interfaces com outros modos de transporte contribuirá significativamente para melhorar o desempenho ambiental, a eficiência energética e a segurança dos transportes rodoviários (Diretiva, 2010).

A implementação deve assumir ações prioritárias na prestação de serviços ao utilizador, designadamente através da disponibilidade de informação sobre as viagens multimodais, de informação em tempo real sobre o tráfego, dados e procedimentos para a prestação de informações mínimas universais sobre o tráfego relacionadas com a segurança rodoviária, gratuitas para os utilizadores, prestação harmonizada de um serviço interoperável de chamadas de emergência e informações sobre lugares e reservas de estacionamento para veículos pesados e comerciais (Assembleia da República, 2013).

Atualmente existem inúmeras aplicações de serviços STI no mercado, com variações de implementação e utilização entre diferentes países.

⁴⁸ Os planos intermunicipais e municipais são instrumentos de natureza regulamentar e estabelecem o regime de uso do solo, definindo modelos de ocupação territorial e da organização de redes e sistemas urbanos e, na escala adequada, parâmetros de aproveitamento do solo, bem como de garantia da sustentabilidade socioeconómica e financeira e da qualidade ambiental (art.º 69º, (RJIGT, 2015)

Entre os diversos serviços, destacam-se os sistemas de gestão das dinâmicas de tráfego e os avisos locais de perigo, que contribuem para aumentar a segurança e a fluidez do tráfego em casos de perturbação oriundas de um incidente, como congestionamento e condições climáticas adversas.

Os sistemas de navegação dinâmica, que utilizam as ocorrências do tráfego atual e os dados das condições da rede de transportes para ajustar o processo de escolha de rotas em sistemas de navegação eletrônicos, permitindo que o utilizador evite rotas com acidentes, obras, interdições na via e congestionamento em tempo real.

Os serviços de informação de tráfego em tempo real, onde estão incluídas todas as informações relevantes para a organização e otimização do tráfego, através da recolha de dados, interpretação da informação e distribuição por infraestruturas de gestão de tráfego e equipamentos dos utilizadores.

Os serviços de informação ambiental alargada, que consiste na monitorização de veículos e recolha de dados relativos à situação do tráfego em toda a rede viária. O equipamento no interior do veículo regista a localização do veículo, velocidade e possivelmente outras informações, como aceleração ou desaceleração e envia as informações gravadas para o sistema central ou para outros veículos. Os dados armazenados podem ser utilizados para diferentes aplicativos e serviços.

O serviço de emergência eCall, que marca automaticamente o número único de emergência da Europa (112) em caso de acidente rodoviário grave, e comunica a localização do veículo aos serviços de socorro e emergência. O eCall é ativado automaticamente assim que os sensores e/ou processadores no veículo, como o airbag, detetam um acidente grave.

Os serviços em tempo real de informação e previsão de ocorrências, que disponibilizam a informações sobre ocorrências esperadas e inesperadas aos utentes da rede rodoviária. As informações podem ser fornecidas em viagem ou em pré-viagem através de diferentes canais de informação, como sítios na internet, placares eletrônicos rodoviários, estações de rádio (*radio data system traffic message channel*), sistemas de navegação em veículos com informações de tráfego e *smartphones* com aplicativos de sistema de navegação.

Os serviços de informação meteorológica, para promover o aumento da segurança e a eficiência do tráfego. Os condutores informados podem adaptar o comportamento da condução, planejar viagens e contribuir para a redução do congestionamento e da sinistralidade.

Os serviços de informação co-modal⁴⁹, oferecem informações comparativas de diferentes modos de transporte (multimodais) e a combinação de diferentes modos de transporte dentro da mesma rota

⁴⁹ O termo co-modal foi adotado pela Comissão Europeia para integrar os termos multimodal e intermodal. O termo multimodal é usado na área de serviços de informação ao viajante no sentido de oferecer informação para mais de um modo do transporte. Os serviços intermodais oferecem, para além disso, a combinação de vários modos de transporte dentro da mesma rota (DG, 2012)

(intermodais). Os serviços oferecem informações sobre transporte coletivo e individual e, geralmente, de circuitos pedonais e ciclovias. Os serviços co-modais podem promover a opção por modos de transporte ecológicos, auxiliar na gestão eficiente da rede de mobilidade e a utilização eficiente das infraestruturas do sistema de transportes.

O serviço de *Ramp Metering*, resulta da implementação de semáforos em vias de acesso a distribuidoras principais ou em áreas críticas para regular o volume de tráfego de entrada durante os períodos de pico e congestionamento.

5.2.1. Sistema de transporte inteligente cooperativo

As novas tecnologias destinadas a melhorar a eficiência, a segurança e o desempenho ambiental dos transportes rodoviários desempenham um papel importante na prossecução dos objetivos do desenvolvimento sustentável. Um domínio emergente dos serviços STI é o do sistema de transporte inteligente cooperativo (STI-C), que permite uma interação direta entre veículos (V2V), e entre os veículos e as infraestruturas rodoviárias circundantes (V2I). No setor dos transportes rodoviários, o STI-C implica normalmente a comunicação *vehicle-to-vehicle* (V2V), *vehicle-to-infrastructure* (V2I) e/ou *infrastructure-to-infrastructure* (I2I), bem como, a comunicação entre veículos e peões ou ciclistas (*vehicle-to-everything*, V2X) possibilitando uma vasta gama de serviços de informação e cooperação.

A plataforma para a implementação de STI-C na UE (plataforma STI-C) foi lançada pela Comissão em julho de 2014, promovendo o diálogo, intercâmbio de conhecimentos técnicos e cooperação entre a Comissão, os *stakeholders* públicos dos Estados Membros, autoridades locais e regionais e os *stakeholders* privados, e. g., fabricantes de veículos, prestadores de serviços, operadores rodoviários, empresas de telecomunicações, para cooperar nos aspetos técnicos, jurídicos, organizacionais, administrativos e governativos.

Os STI-C permitem a cooperação entre utilizadores de STI através do intercâmbio de mensagens seguras e de confiança. O STI-C é um serviço STI prestado através de estações STI-C. As estações STI-C são um conjunto de componentes de hardware e software necessários para recolher, armazenar, processar, receber e transmitir mensagens seguras e de confiança. As estações podem ser móveis, instaladas num veículo ou sob a forma de um dispositivo pessoal portátil, podem ser fixas, instaladas em

um sistema central ou em uma infraestrutura rodoviária e, podem ser centrais, um servidor central integrado em um centro de gestão de tráfego (Regulamento Delegado (UE), 2019).

Os STI-C utilizam tecnologias que permite aos veículos rodoviários comunicar entre si e com as infraestruturas rodoviárias, incluindo a sinalização rodoviária. Os serviços STI-C constituem uma rede aberta, que permite a existência de uma relação *many-to-many* ou *peer-to-peer* entre estações STI-C.

A implementação dos STI-C possibilita uma maior segurança rodoviária, menos congestionamento, maior eficiência nos transportes, mobilidade e fiabilidade dos serviços, redução do consumo de energia, menos impactos ambientais negativos e apoio ao desenvolvimento económico.

Todas as unidades de STI-C exploram os dados recebidos de outros dispositivos para criar avisos estratégicos, conselhos táticos e informações ao condutor. As unidades no veículo transmitem dados sobre a localização, velocidade, direção do veículo e ocorrências, como um obstáculo ou alterações ambientais e as unidades de estrada fornecem dados locais, como limites de velocidade, fases e tempo de semáforos e informações sobre desvio de tráfego. As unidades no veículo integram todos os dados recebidos para formar uma imagem da situação do tráfego local, criar informações e avisos relevantes diretamente para o condutor (MOVE - DG Mobility and Transport, 2016).

5.2.1.1. Comunicações em STI-C

Para garantir a interoperabilidade, cada estação STI-C, exige uma configuração específica de normas (perfil do sistema) que determinam a aplicação de várias normas facultativas. A cooperação entre a indústria e as autoridades dos Estados Membros permitiu o desenvolvimento de perfis de sistema harmonizados para as estações no veículo e na estrada que comunicam na frequência de 5,855 GHz a 5,925 GHz. Para que todos os serviços STI-C possam ser recebidos uniformemente em toda a União Europeia é necessária uma abordagem de comunicação híbrida, i. e., que combine tecnologias das comunicações complementares.

As tecnologias de comunicação para STI-C baseiam-se em padrões desenvolvidos pelas organizações de padronização, Standards Development Organizations (SDO), European Telecommunications Standards Institute (ETSI), European Committee for Standardization (CEN) e International Organization for Standardization (ISO) e podem ser distinguidas por comunicações e de curto e de longo alcance.

A rede de curto alcance suporta comunicações diretas, entre estações, relevantes para a segurança e, necessita de sensores de estrada em redes de transportes densas, enquanto a rede de longo alcance será implementada em redes celulares com diferentes gerações de tecnologia.

A comunicação de curto alcance, a ITS-G5 / IEEE 802.11p, deriva do padrão IEEE 802.11, também conhecido como *wireless local area network* (WLAN), e do espectro de frequência na faixa de 5,9 GHz harmonizado na Europa e nos EUA. Quando dois ou mais veículos ou estações STI-C estão no alcance da comunicação de rádio, conectam-se automaticamente e estabelecem uma rede ad hoc. Como o alcance de uma única ligação WLAN é limitado a algumas centenas de metros, cada veículo também funciona como *router* e permite o envio de mensagens através de vários saltos para veículos e estações STI-C distantes.

O algoritmo de routing é criptográfico, o que permite a adaptação à evolução de requisitos de criptografia e de segurança, e o protocolo GeoNetworking, de camada de rede, permite comunicação móvel ad hoc sem a necessidade de uma infraestrutura de coordenação. Utiliza a localização geográficas para propagação de informações e transporte de pacotes de dados. A comunicação é efetuada através de vários saltos *wireless* entre nós vizinhos para aumentar o alcance da transmissão e o tamanho da própria rede (*mesh network*). Suporta mobilidade e alterações rápidas da configuração física da rede ad hoc, comunicação ponto a ponto e ponto a multiponto, bem como, a distribuição de pacotes de dados em áreas geográficas, i. e., para todos os nós em uma área geográfica (*GeoBroadcast*) ou para qualquer nó em uma área geográfica (*GeoAnycast*) (ETSI, 2017).

A alta frequência de 5,9 GHz apresenta um comportamento ótimo na transferência de dados, contudo, o comprimento de onda (α) reduzido (5 cm) têm dificuldade em penetrar em edifícios e em terrenos acidentados, sendo o melhor desempenho obtido quando existe linha de visão entre emissor e recetor. Assim, é necessária uma adequada instalação de antenas nos veículos para atingir o máximo desempenho. Por exemplo, em veículos pesados com atrelado alto, para garantir uma linha de visão, as antenas devem ser instaladas nos espelhos retrovisores ou na lateral para conseguir um desempenho aceitável na circunscrição do veículo (ACEA, 2018). A instalação da antena em 5,9 GHz é crucial e não está dependente das características da tecnologia implementada (ITS-G5 ou LTE-V2X), mas sim, das características da própria frequência que, por outro lado, garante as condições de segurança (ICNIRP, 2020) no ecossistema urbano envolvente (100 m a 300 m) e cria mais uma possibilidade para a captação da energia das radiofrequências (RF).

As comunicações V2V podem ser efetuadas através de V2N ou *vehicular ad-hoc network* (VANET), denominadas por LTE-V2X (Long Term Evolution-V2X). Na comunicação V2N, o veículo comunica para

uma estação de base, gerida por uma operadora e, em seguida a comunicação V2V ocorre em uma frequência livre. Na VANET não existe qualquer interferência de operadoras licenciadas, a comunicação é totalmente livre e isenta de licença (G5 ou 5,9 GHz) (ACEA, 2018).

Para a comunicação de longo alcance, o STI-C utiliza as redes celulares existentes (3G, 4G LTE, 5G). As tecnologias celulares são usadas para conectar V2I através de serviços baseados em nuvem e interfaces de *backend* (V2N). O caminho a seguir para a implementação de STI-C é através de uma abordagem de comunicação híbrida, sendo a mais provável a ETSI ITS-G5 e as redes celulares existentes, o que permite o suporte total na implementação de todos os serviços STI-C e a combinação da baixa latência e segurança de ETSI ITS-G5 para mensagens STI-C com a ampla cobertura geográfica e escalabilidade no acesso de um grande número de dispositivos de redes celulares existentes (ETSI, 2017).

5.3. Rede de sensores wireless

Uma rede de sensores *wireless* (RSW) pode ser definida como um conjunto de elementos colaborativos (nós sensor) que recolhem e realizam o transporte dos dados da monitorização de uma determinada área através de uma rede *wireless*. Os dados da RSW são encaminhados através de vários nós (transceptor) sensor (transdutor), representado na Figura 7, para um *gateway*, denominado de *sink*, que conecta os dados com as *wireless local area network* (WLAN) (Liñán, *et al.*, 2016).

O conjunto de protocolos usados pelos nós da RSW (Figura 7) têm como base o *Open Systems Interconnection Model* (OSI *model*) e resume-se a uma camada de aplicação, uma camada de transporte, uma camada de rede, uma camada de conexão de dados e uma camada física. Em conjunto com os protocolos de gestão de energia, de critérios de mobilidade e de planos para gestão das tarefas.

A camada de aplicação é a interface entre o protocolo de comunicação e as aplicações (assegura a receção e entrega de dados). A camada de transporte é responsável pela gestão do fluxo de dados. A camada de rede estabelece os caminhos de comunicação entre os nós através de protocolos específicos de encaminhamento. A camada de conexão de dados é responsável por garantir a comunicação entre os nós, suporta os protocolos de *medium access control* (MAC), garante a ligação entre nós, controla o fluxo de dados, deteta e corrige erros. A camada física é responsável pela gestão das definições de

comunicação, nomeadamente, pela escolha das frequências do sinal, deteção de sinal, modulação e encriptação dos dados (Jamalipour & Azim, 2010).

Em qualquer aplicativo, os sensores recolhem os dados específicos requisitados pelo utilizador, enquanto o *sink* atua como um *gateway* para a infraestrutura recolher os dados dos nós e encaminhar as *queries* (requisição de dados ou de informação) do utilizador. Para a comunicação de dados da fonte (nó sensor) ao coletor (*sink*), os nós intermediários encaminham os dados e por vezes executam processos adicionais de conexão de dados (os dados são reunidos com base em características determinísticas).

Devido aos recursos limitados dos nós sensor, o desenvolvimento e implementação de RSW apresentam uma série de desafios relacionados com a vida útil, a qualidade do serviço, escalabilidade, tolerância a falhas, sustentabilidade, cooperação e programabilidade.

A vida útil é específica para cada aplicação e depende diretamente da eficiência energética de vários mecanismos implementados, como protocolo de rotas, estratégia de sono, mecanismo de reunião, etc. É necessário fornecer qualidade do serviço às aplicações que definem o nível de granularidade do serviço através de funções convertidas em um conjunto de métricas de custo, como atraso, turbulência, largura de banda, perda de pacotes, etc. É também necessário garantir que a presença de um grande número de nós não é prejudicial ao bom funcionamento (escalabilidade) dos protocolos e algoritmos que foram incorporados para oferecer suporte à funcionalidade eficiente da rede.

A rede precisa incorporar recursos tolerantes a falhas para impedir a divisão da rede. Uma maneira simples é a implementação redundante dos nós. Uma alteração na topologia da rede devido à mobilidade ou à falha de um nó sensor (divisão da rede) não pode ser um impedimento ao regular funcionamento da rede. É necessário que os nós sensor interajam de maneira cooperativa para detetar um evento, encaminhar os dados detetados, participar do processo de reunião, etc.

O nó sensor deve ser autónomo e ajustar ou reprogramar a dinâmica das opções de processamento baseado nos dados locais (Jamalipour & Azim, 2010).

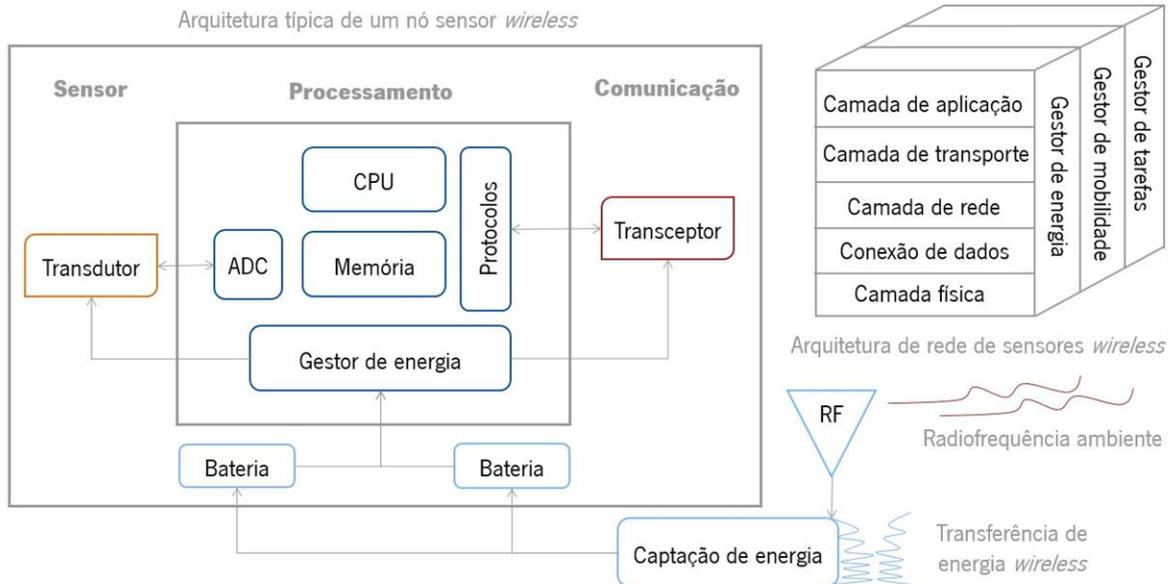


Figura 7 – Arquitetura típica de um nó sensor, introdução de técnica de captação de energia e representação do conjunto de protocolos usados pelos nós em RSW (Engmann, *et al.*, 2018).

5.3.1. Routing nas RSW

Uma questão essencial em RSW é o design dos protocolos de rotas (*routing*) que necessitam de ser otimizados para a entrega de dados eficiente, sem sobrecargas e considerar as diversas restrições energéticas da rede para prolongar a vida útil dos nós.

A participação de diferentes tipos de nós sensor no processo de *router* incorpora as funcionalidades, com alguns padrões específicos, de detecção de eventos, função de localização, medição periódica e *tracking* (Jamalipour & Azim, 2010).

Na detecção de eventos, o nó sensor deteta os eventos que correspondem à requisição (*query*) e responde ao *sink* com os dados detetados. A função de localização mapeia aproximadamente uma área, os nós sensor são usados para estimar a alteração do valor físico entre dois pontos. Na medição periódica as fontes comunicam o valor detetado para o sink de destino periodicamente, de acordo com o intervalo definido ou conforme os requisitos da aplicação. O *tracking* surge como o objeto de interesse das informações significativas que os nós sensor criam na mobilidade e na interação recíproca.

A RSW pode ser subdividida em várias categorias, como o *routing*, localização, MAC, o *transmission control protocol* (TCP) e a segurança.

A eficiência energética no *routing* constitui um dos parâmetros mais importantes do design de uma RSW. Os protocolos de *routing* determinam o caminho que um pacote segue da origem ao destino. O objetivo final do protocolo é minimizar o custo da rota. Fundamentalmente, a definição de custo varia de uma rede para outra, e. g., na internet, que é uma rede confiável baseada em infraestrutura, a maior distância define o custo fundamental da *route*. Em redes *wireless* com interface não confiável, e. g., rede ad hoc⁵⁰ e de sensores *wireless*, o custo da rota depende das características individuais de cada rede e da relação com os aplicativos inerentes (Jamalipour & Azim, 2010).

5.3.1.1. Protocolos de *routing* planos e hierárquicos

Nas RSW as restrições e definições na elaboração de protocolos de *routing* estão sempre relacionadas com a mobilidade da rede, similar às redes *ad hoc*, com a eficiência energética, devido às limitações da bateria dos nós e com a eficiência da aplicação que o protocolo utiliza.

Os protocolos de *routing* podem ser classificados quanto à sua estrutura lógica plana, hierárquica e de várias outras maneiras (Jamalipour & Azim, 2010).

Numa rede plana (ausência de qualquer hierarquia), todos os nós assumem a mesma responsabilidade e executam a tarefa de *routing*. Dos vários protocolos para redes planas⁵¹, o *directed diffusion* destaca-se como um *routing* híbrido, onde o *sink* difunde um interesse, com atributos de frequência de envio de dados, que se propaga pela rede à procura de nós com registos de eventos correspondentes. O nó, ao recebê-lo, difunde os eventos para o *sink* por vários caminhos e, finalmente, o melhor caminho é reforçado pelo *sink*.

A longevidade deste tipo de comunicação permite ao protocolo descobrir os bons caminhos e a diversidade de rotas permite ao algoritmo a resiliência à falha do nó.

Os nós reconhecem a aplicação e armazenam *cache*, permitindo alcançar a eficiência energética através da seleção empírica de bons caminhos e consequentemente, aumentar a robustez e escalabilidade da coordenação entre os nós. No entanto, como o protocolo inunda a rede com interesses,

⁵⁰ Rede ad hoc, são redes *wireless* flexíveis onde as máquinas não necessitam de um ponto de acesso comum para se comunicar (encaminhamento comunitário de dados).

⁵¹ Protocolos de *routing* plano para RSW, *reactive routing with controlled flooding*, TEM, EM-GMR, SPIN, *directed diffusion*, *fuzzy directed diffusion*, TBF/TBF+, *rumor routing*, COUGAR, ACQUIRE, PEC, *energy-aware routing*, MCFA, *random walk*, CADR.

para as consultas únicas, a difusão direcionada é considerada muito cara porque utiliza o caminho apenas uma vez.

Para evitar a inundação da rede, é incorporado o protocolo *fuzzy directed diffusion* para limitar o custo. O protocolo propõe uma técnica de encaminhamento de interesse probabilístico de otimização com base difusa para tornar o sistema mais eficiente. O interesse é propagado para os nós com maior probabilidade de ter mais energia disponível e o nó pode decidir se participa do processo de recuperação da consulta de acordo com os dados intrínsecos da energia da bateria (Jamalipour & Azim, 2010).

Numa rede hierárquica os nós são classificados de acordo com critérios de energia da bateria e a condição de mobilidade e, ocupam diferentes camadas lógicas dentro da arquitetura da RSW. Agrupados em clusters, os nós executam várias operações em relação às suas camadas correspondentes.

Entre vários protocolos⁵² o *low energy adaptive clustering hierarchy* (LEACH) é uma solução para a arquitetura de rede baseada em clusters que recolhe os dados através de um cluster chefe (CH). Os CH existem em uma percentagem predefinida e são selecionados aleatoriamente pela globalidade dos nós da rede. Quando definidos, transmitem a decisão aos restantes nós (não-CH) que se juntam em clusters com base na intensidade do sinal recebido. Após a formação do cluster, os nós enviam os dados detetados aos CHs, que então reúnem os dados e enviam ao *sink* (todas as comunicações são realizadas diretamente). Contudo, devido ao processo de formação de clusters ser aleatório, a configuração da rede pode ficar irregular com número diferente de nós participantes ou número diferente de clusters.

Para melhorar a rotatividade aleatória dos CH e limitar a configuração irregular de clusters é introduzido o *maximum energy cluster head* (MECH) para determinar o tamanho e correspondente número máximo de nós dentro de um cluster. A seleção do CH é realizada com base na energia das baterias e a hierarquia de *routing* é em topologia de árvore para reduzir o consumo de energia da transferência de dados.

Um exemplo de protocolo baseado em árvore é o *tree based energy eficiente protocol for sensor information* (TREEPSI) onde o CH recolhe todos os dados dos sensores através de apenas um único caminho. Os dados são reunidos em cada salto ao longo do caminho até chegar ao CH que envia os dados recolhidos e reunidos para o *sink*. Este processo continua até que o CH falhe e o nó com o próximo ID assumo o papel do CH, mantendo assim o fluxo de dados (Jamalipour & Azim, 2010).

Com o desenvolvimento de novas aplicações, as RSW integram uma rede diversificada com escalas e formas variáveis que obrigam a arquiteturas de protocolos que complementem os *routing* plano e o

⁵² Protocolos de *routing* hierárquico para RSW, LEACH, LEACH-C, MECH, BCDP, TEEN, APTEEN, *Fuzzy centralized routing*, TTDD, ECPC, *GA-Clustering*, HEAR-SN, PEGASIS, E-PEGASIS, TREEPSI, EDC, TPC, H-BAR, HPEC, VGA routing, *Power aware routing*, *sensor aggregates routing*, *Self-organizing protocol*, *Ant colony optimization*.

routing hierárquico. O conjunto de protocolos selecionados permite compreender a lógica do algoritmo para garantir a eficiência no encaminhamento dos pacotes até ao destino através de rotas dinâmicas ou estáticas.

5.3.2. Tecnologia Zigbee

O padrão de rede mais atraente para RSW é o padrão IEEE 802.15.4, que fornece baixa taxa de transmissões de dados e reduzido consumo de energia. A norma IEEE 802 tem como objetivo fornecer as especificações para a camada física e de controlo de acesso no seio de uma rede wireless. A norma é aplicada em diversos tipos de redes, como a 802.3 da *ethernet*, 802.11 das *wireless local area network* (WLAN) e 802.15 de *wireless personal area network* (WPAN).

A norma WPAN 802.15 garante as especificações de redes pessoais com baixa potência e de custo reduzido, e. g., permitir a ligação do Bluetooth a equipamentos fixos e portáteis (802.15.1), permitir a coexistência das redes WPAN com as redes WLAN (802.15.2), permitir características que permitem um consumo reduzido de energia em redes de complexidade reduzida e débitos binários baixos (802.15.4) e garantir a estabilidade na coexistência de uma rede de baixo débito e outra de débito elevado em uma *mesh network* (802.15.5) (Nourildean, 2012).

A tecnologia Zigbee, nas camadas físicas e camada de conexão de dados do OSI *model*, é baseada no padrão IEEE 802.15.4 e garante (teoricamente) uma taxa de transmissão de dados igual a 250 kbps numa *low-rate wireless personal area networks* (LR-WPANs). O IEEE 802.15.4 trabalha na frequência não licenciada *industrial scientific and medical* (ISM) de 868,3 MHz (Europa), 902 MHz a 928 MHz (Américas) e 2,405 GHz a 2,480 GHz (mundial). Na frequência de 868,3 MHz existe apenas um canal (0) e, embora apenas permita taxa de transmissão até 20 Kbps, a atenuação entre emissor e recetor é reduzida permitindo uma maior área de cobertura. Na frequência de 902 MHz a 928 MHz existem 10 canais (1- 10) e apresenta uma taxa de transmissão de 40 Kbps. Na frequência de 2,4 GHz estão disponíveis 16 canais (11-26) e a taxa de transmissão pode atingir os 250 kbps (Zigbee, 2020).

As especificações de uma rede com tecnologia Zigbee integra um *coordinator*, um *router* (*full funcion device*, FFD) e um *end device* (*reduce funcion device*, RFD).

O *coordinator* é o centro de confiança da rede, cria e gere as dinâmicas de comunicação entre os diversos nós, atribui endereços, armazena mensagens para comunicar aos nós e recebe os dados para

encaminhar para uma base de dados ou nuvem. É o dispositivo com maior potência e necessita de alimentação permanente da rede elétrica, podendo funcionar como um sensor ou monitor. Só pode existir apenas um *coordinator* em cada rede.

O *router* encaminha os pacotes recebidos e as *queries* do utilizador para os diversos nós da rede (aumenta o diâmetro da rede) e gere os protocolos de *routing*. Normalmente, está sempre ativo e necessita de ser alimentado pela rede elétrica, podendo desempenhar a função de sensor e de monitor. O *coordinator* e o *router* são FFD que podem desenvolver todas as funções exigidas pelo padrão Zigbee para configurar e gerir as comunicações, diferenciando-se apenas na possibilidade de criar a rede.

O *end device* ou RFD é um nó com funcionalidade limitada, para controlar o custo e complexidade, requer menos memória e pode ter a opção de modo de sono. É um nó de ponta que apenas comunica com os CH (*router* ou *coordinator*) para transferência dos dados monitorizados pelos sensores ou receber protocolos de gestão de rede.

Os dispositivos são distribuídos no espaço através das possibilidades de topologia em *star network*, *mesh network* e *cluster-tree*.

Na *star network* o *coordinator* efetua todo o controle da rede, assumindo o papel central e de comunicação direta com todos os *end device*. O *coordinator* inicia e mantém em funcionamento os dispositivos na rede. Os pontos desfavoráveis nas topologias em *star* são o consumo energético do CH e a gestão das redes de grande escala.

Na topologia de *mesh network* os nós FFD (*coordinator* e *router*) são livres de comunicar com outros nós FFD, permitindo, quando necessário, a expansão física da rede (maior alcance). O *coordinator* regista todas as entradas e saídas dos nós, mas não assume um papel tão preponderante em termos de fluxo de comunicação como na topologia em *star*. Qualquer nó de origem pode comunicar com qualquer nó de destino. Os *routers* e *coordinadores* estão conectados entre si, dentro das próprias faixas de transmissão, para facilitar o *routing* dos pacotes e melhorar a eficiência energética. Os recetores de radiofrequência (transceptor) dos *routers* e *coordinadores* devem permanecer sempre ligados.

Na topologia *cluster-tree* a distribuição de dados e de mensagens de controlo é realizada segundo uma estrutura hierárquica onde o *coordinator* assume o papel de núcleo da rede. Para aumentar as dimensões da rede, o *coordinator* funciona como um tronco que se conecta aos RFDs, que funcionam como folhas e, aos *routers* que podem funcionar como ramos ou folhas. A topologia em *tree* é a que promove um menor consumo de energia. Dispõem de processos de gestão de largura de banda e apenas permite rotas únicas entre o nó de origem e o nó de destino.

A técnica de routing que a tecnologia Zigbee utiliza é o protocolo *Ad hoc On Demand Distance Vector* (AODV), trata-se de um protocolo reativo, onde a rede permanece em silêncio até que uma conexão seja solicitada a partir de uma solicitação de rota gerada por um nó (fonte). Quando um nó de origem pretende comunicar, transmite uma solicitação de rota para o nó vizinho que responde em conformidade com a tabela de *routing* intrínseca. O processo é executado em uma rota única (tabela de *routing*) e possibilita a criação de novas rotas no caso de falha do nó. Para garantir a comunicação, os nós intermediários apenas podem reservar a nova rota se for atualizada a tabela de *routing* (Cabani & Mouzna, 2013).

A quantidade de energia necessária para a transmissão da mensagem, também é uma parte substancial do consumo geral de energia. Uma das soluções apresentadas é o protocolo Zigbee PRO (2015/2017) que permite a realização de uma *mesh network* com 65 000 nós com um alcance de comunicação de 300 m em espaço aberto (linha de visão) e de 75 m a 100 m em recintos fechados na frequência de 2,4 GHz. É um protocolo que suporta RFD com função de sono, permite a integração de um suporte para baixo consumo de energia, Zigbee Green Power Devices (captação de energia), que possibilita a redução de energia na transmissão de mensagens (Zigbee, 2020).

Normalmente as *mesh network* estão equipadas com pelo menos 256 Kbytes de programas e 16 Kbytes de dados, um Zigbee Green Power Devices normalmente precisa de menos de 32 Kbytes para os programas e 1 Kbytes para os dados.

Uma única transmissão em *mesh network* consome apenas 500 μ J de energia. A tecnologia Zigbee Green Power reduz o consumo por um fator de cinco, podendo a transmissão realizar-se com um consumo de apenas 50 μ J de energia. Este excelente nível de eficiência permite a utilização da técnica de captação de energia por *wireless switch*, que recolhe a energia cinética⁵³, gerada ao pressionar o próprio botão, para alimentar as transmissões rádio *Green Power*. Os *wireless switch* pode ser colocado em qualquer lugar sem a necessidade de fios. Ao longo de todo o seu ciclo de vida, cumprirá a sua função de forma totalmente isenta de manutenção e sem necessidade de substituição de bateria (Williams, *et al.*, 2020).

⁵³ A energia cinética é a energia gerada pelo movimento de um objeto. Neste caso específico, o objeto é um ímã que se move para a frente e para trás dentro de uma bobina alterando o campo magnético e induzindo uma tensão na bobina. Este princípio é conhecido como indução eletromagnética, ou lei de Faraday.

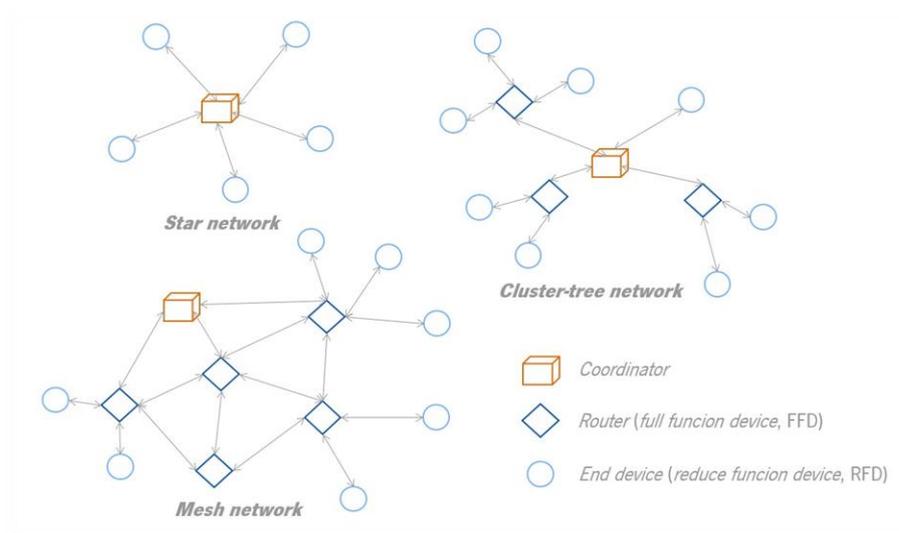


Figura 8 – Configurações físicas de RSW com a introdução da tecnologia Zigbee (Zigbee, 2020).

5.3.3. Tecnologia LoRaWAN

A LoRa (*long range*) é a camada física ou uma modulação *wireless* otimizada, desenvolvida pela Semtech para comunicação de longo alcance, de baixa potência e com baixa taxa de dados. A LoRa permite uma comunicação que pode atingir os 5 km em áreas urbanas e 15 km em áreas rurais.

A LoRaWAN define o protocolo de comunicação e a arquitetura do sistema para a rede. O protocolo e a arquitetura da rede têm a maior influência na determinação da vida útil da bateria de um nó, na capacidade da rede, na qualidade do serviço, na segurança e na variedade de aplicativos servidos pela rede (LoRa Alliance, 2015).

Muitos sistemas *wireless* utilizam a *frequency shifting keying* (FSK) como camada física, porque é uma técnica de modulação de frequência eficiente para obter comunicação de baixa potência. A LoRa é baseada na modulação de *chirp spread spectrum* (CSS) que mantém as características de baixa potência da modulação FSK, mas aumenta significativamente o alcance de comunicação. A técnica de modulação de espectro de propagação proveniente da tecnologia CSS permite uma troca entre a sensibilidade e a taxa de dados no canal de frequência 125 KHz ou 500 KHz (para canais *uplink*) e 500 KHz (para canais *downlink*) e, adicionalmente, utiliza fatores de propagação ortogonais⁵⁴, que permitem combinações adaptativas entre o fator de propagação e a taxa de dados efetiva. Por exemplo, um nó localizado próximo

⁵⁴ Significa que sinais modulados com diferentes fatores de propagação e transmitidos no mesmo canal de frequência ao mesmo tempo não interferem entre si, são apenas sentidos como ruído ambiental.

do *gateway* utiliza fatores de baixa propagação para a transmissão de dados, porque ocupa pouco espaço na rede. Os nós distantes do *gateway* necessitam de fatores de alta propagação, que resulta num ganho de processamento (aumento da taxa de bits) e uma maior sensibilidade na recepção, embora a taxa de dados seja necessariamente menor. O ganho de processamento é o que permite ao recetor recuperar o sinal de dados original mesmo que o canal tenha uma relação sinal-ruído negativo. O LoRa tem um ganho de processamento superior à FSK (código de propagação), o que permite, manter um sinal com a mesma taxa de dados e uma ocupação da rede semelhante, com um nível reduzido de energia na saída do transmissor (LoRa Alliance, 2015).

A configuração da rede consiste em um *end-divise* e um *gateway* (*star network*) que comunicam, na Europa, através da frequência de 867 MHz a 869 MHz. Para satisfazer diferentes necessidades de uma ampla gama de aplicações, existem as classes A, B e C de *end-devices* (LoRa Alliance, 2015).

A classe A, é a classe padrão que deve ser suportada por todos os *end-devices* LoRaWAN. A comunicação é sempre iniciada pelo *end-device* e totalmente assíncrona (variável com a potência do dispositivo). Cada transmissão dos *end-devices* para o *gateway* (*uplink*) pode ser enviada a qualquer momento, seguindo-se duas janelas curtas de *downlink*, para criar a oportunidade de comunicação bidirecional ou se necessário, comandos de controle de rede (tipo de protocolo ALOHA). O *end-device* é autónomo na escolha do tempo de sono e o momento da comunicação, para maximizar o consumo de energia e a rede não requer comunicação periódica. Como a comunicação de *downlink* deve ser subsequente a uma transmissão de *uplink* com uma programação definida pelo aplicativo do *end-device*, a comunicação de *downlink* deve ser armazenada em *buffer* no servidor de rede até à próxima ocorrência de *uplink*. Os nós assíncronos com comunicações exclusivas dos dados recolhidos e prontos a enviar permite uma poupança significativa da energia das baterias (10 a 20 anos de vida útil). Numa *mesh network* ou rede síncrona, como telemóvel, os nós precisam de acordar frequentemente para sincronizar com a rede e verificar a existência de mensagens, consumindo energia significativa e conseqüente fator de redução da vida útil da bateria (LoRa Alliance, 2015).

A classe B, para além do início de comunicação igual à classe A, os *end-devices* são sincronizados com a rede usando *beacons* (solicitação de ID) periódicos e abrem *slots* de *ping* de *downlink* em horários programados, fornecendo à rede a capacidade de enviar comunicações de *downlink* com uma latência (atraso na execução do comando) determinística, mas com maior consumo de energia.

A classe C, para além da estrutura de *uplink* da classe A seguida por duas janelas de *downlink*, reduz ainda mais a latência de *downlink*, resultando nos recetores dos *end-devices* sempre abertos (half duplex). O servidor da rede pode iniciar uma transmissão de *downlink* a qualquer momento e o recetor

do *end-device* está sempre aberto proporcionando uma comunicação com ausência de latência, mas, com um consumo de energia até 50 mW e, portanto, a classe C é adequada para aplicações com alimentação de energia contínua. Para dispositivos alimentados a bateria, é possível alternar o modo temporário entre as classes A e C para tarefas periódicas, como atualizações de *firmware*.

Na *star network* da LoRaWAN, os nós não estão associados a um *gateway* específico. Os dados transmitidos, por um nó, normalmente são recebidos por vários *gateways*. Cada *gateway* encaminhará o pacote recebido para o servidor de rede baseado em nuvem através de um *backhaul* (telefone, ethernet, satélite ou WLAN). A *star network* pode suportar milhões de mensagens, no entanto, o número de mensagens com suporte em qualquer implementação, depende do número de *gateways* instalados. Um único gateway de oito canais pode suportar algumas centenas de milhares de mensagens ao longo de 24 horas. Se cada nó enviar 10 mensagens por dia, o gateway receptor pode suportar cerca de 10 000 nós. Se a rede aumentar o número de *gateways* para 10, a rede pode suportar cerca de 100 000 nós e um milhão de mensagens (adicionar *gateways* para aumentar a capacidade da rede).

A capacidade da rede é afetada pelo número de canais simultâneos, pela taxa de dados (tempo no ar) e pela frequência de transmissão dos nós. A alta capacidade da rede é alcançada através da utilização da taxa de dados adaptável e a utilização de *gateways* com *multichannel multi-modem transceiver* para poder receber mensagens simultâneas em vários canais.

A inteligência e a complexidade são enviadas ao servidor de rede, que gere a rede e filtra os pacotes redundantes recebidos, realiza verificações de segurança, agenda confirmações através de um *gateway* específico e realiza a taxa de dados adaptável (LoRa Alliance, 2015).

5.3.4. Prolongar a vida útil de RSW

A eficiência energética é um conceito fundamental na implementação de RSW. A eficiência dos protocolos de *routing* colidem com as limitações impostas pelas baterias, no tamanho, energia finita e tempo de vida útil limitado, no desenvolvimento de uma rede consistente (perdas, escalabilidade), com manutenção reduzida e uma vida útil prolongada. Normalmente, são as baterias que constituem a principal fonte de energia dos nós sensor e que representam a espinha dorsal de aplicações de processamento ubíquos, como vigilância, tráfego, meio ambiente, estrutural, saúde e segurança, vida selvagem e habitat, bem como agricultura de precisão.

Uma RSW deixa de realizar a função predefinida quando o *sink* falha ou quando uma percentagem significativa de nós sensor morre (acaba a bateria) e interrompe a transferência de dados em determinado setor ou cluster.

Para aumentar a vida útil dos nós sensor é possível implementar técnicas de conservação de energia como a *duty cycling*, *data driven* e *mobility driven*. O *duty cycling* procura reduzir o tempo utilizado pelo nó na escuta de elementos não presentes ou com atributos distintos dos programados. As técnicas baseadas em *data driven* utilizam os parâmetros dos próprios dados para decidir as dinâmicas de redução do consumo energético durante a comunicação e a *mobility driven* considera a mobilidade do *sink* ou dos nós sensor com relé (movimento temporizado) como o principal fator de consumo de energia da rede. As técnicas típicas de conservação de energia procuram simplesmente prolongar a vida útil da RSW reduzindo a energia utilizada e normalmente não requerem a introdução de novas fontes de energia.

Para aumentar a energia disponível nos nós sensor, existem esquemas de gestão de energia que permitem a captação e armazenamento da energia, nem sempre disponível, em baterias ou condensadores de baixa potência, conhecidas como captação de energia, transferência de energia *wireless* e de conservação de energia (Engmann, *et al.*, 2018).

O conceito de captação de energia abarca técnicas para captação de energia do ambiente externo, como o vento, vibrações, solar, acústica e térmica para converter em energia elétrica. Nas RSW a captação de energia pode prolongar a vida útil das baterias, mas não evita a descarga completa e consequente falha do nó. A captação de energia solar, onde a quantidade de energia é dependente da quantidade e tempo de iluminação e da área de superfície da célula fotovoltaica, normalmente apresentam eficiência de conversão de energia de 15 % a 25 % em células de silício cristalino, consequentemente, o armazenamento de energia é irregular (Engmann, *et al.*, 2018).

A captação de energia através de vibrações pode ser obtida através de atividades que proporcionem vibrações, como tráfego rodoviário, ferroviário e do metro. A quantidade de energia mecânica captada é convertida para energia elétrica através de materiais com características piezoelétricas (*ferroelectrics*) e *magnetostrictive* e mecanismos electroestáticos ou eletromagnéticos. A energia captada é diretamente proporcional ao tamanho do conversor usado. Não é aconselhável em redes de sensores onde os nós são de tamanho reduzido.

A captação de energia térmica apresenta eficiência de 17 % e baseia-se na diferença de temperatura dentro de um ambiente (Engmann, *et al.*, 2018).

Devido ao elevado número de transmissores de rádio disponíveis em qualquer ambiente urbano, a recolha de energia através de radiofrequência (RF) afigura-se com elevado potencial. Incluem-se algumas

tecnologias que não são otimizadas para RSW, como o Bluetooth, tecnologia WiFi (IEEE 802.11a/b/h/g), a WiMax, WLAN (2,4 GHz e 5,8 GHz), RFID (2,45 GHz, 5,8 GHz e 24,125 GHz), telemóveis (4G, 5G), TDT (700 MHz) e Global System for Mobile Communications (GSM).

Entre os que estão desenvolvidos para RSW, incluem-se o Wavenis da Coronis Systems, Wibree da Nokia, LoRa e Zigbee.

Em relação ao nível de potência das fontes de RF ambiente comuns, os sistemas de rádio FM, AM e TDT transmitem poucas dezenas de KW de energia e as torres de telemóvel (celular), transmitem de 1 W a 2 W de energia (Engmann, *et al.*, 2018).

A energia captada de RF pode ser utilizada para alimentar diretamente sistemas sem bateria ou para carregar as baterias de telemóveis e de RSW ou para despertar sensores em modo de sono. A conversão de ondas eletromagnéticas do ambiente em tensão DC útil é realizada através de uma *rectenna* (antena mais retificador). A *rectenna* é composta por uma única ou por uma combinação de antenas, um *bandpass* ou *tunable filter*, uma rede de banda larga ou multibanda com compatibilidade de impedância, um retificador e um *low-pass filter* para fornecer a energia à bateria.

A antena recebe as ondas de RF, em seguida a rede de compatibilidade de impedância combina a energia da RF com a do retificador para atingir a máxima eficiência e evitar incompatibilidade com a bateria, o retificador converte a tensão AC, produzida pelas ondas de RF, incidente nos terminais da antena recetora em uma tensão DC e o *low-pass filter* garante a passagem de tensão DC, livre de ondas, para a bateria ou condensador (Saeed, *et al.*, 2018).

Os equipamentos que utilizam a energia de RF detêm recursos energéticos limitados, devem estar próximos das transmissões ou ter antenas de grande dimensão, portanto, a principal condicionante é perceber a área com abundância de RF onde a RSW pode ser implementada. A conversão do sinal de RF em energia DC está dependente da fonte de energia, ganhos da antena, distância entre a fonte e recetor e a taxa de conversão de energia.

O conceito de transferência de energia *wireless* é a capacidade de transferir energia elétrica de uma fonte de armazenamento para algum armazenamento de destino sem utilização de fios. Já em 1961, Nikola Tesla, previa que a transmissão de energia *wireless* iria criar uma revolução industrial. A transferência de energia *wireless* está presente em aplicações como, leitores de RFID, em implantes médicos com técnicas *near field coupling* e no quotidiano através dos carregamentos de variadíssimos equipamentos eletrónicos. Pode ser realizada através de *inductive coupling*, *magnetic resonant coupling* e *electromagnetic radiation*.

A *inductive coupling* é a transmissão *wireless* de energia elétrica através da proximidade de uma bobina primária com uma bobina secundária. A corrente AC ao passar na bobina primária cria um campo magnético variável que induz uma tensão na bobina secundária de um receptor. O tamanho da bobina é diretamente proporcional à quantidade de energia gerada e a eficiência de carregamento é produzida a curtas distâncias. Trabalha em frequências de 13,56 MHz e 135MHz, o alcance de transmissão é inferior a um metro e o alinhamento preciso entre bobinas primárias e secundárias é obrigatório. Estas limitações tornam a *inductive coupling* não desejável para RSW.

A *magnetic resonant coupling* trabalha com base no princípio de bobinas ressonantes magnéticas, onde as bobinas, na mesma frequência de ressonância, são fortemente acopladas através de ressonância magnética não radiativa. Na transferência de energia entre bobinas primária e secundária ocorrem ligeiras perdas para objetos externos fora da ressonância. As bobinas podem ter um tamanho reduzido sem comprometer a eficiência. Os resultados obtidos na utilização de uma bobina auto ressonante, demonstram uma transferência de energia de 60 Watt com 40 % de eficiência em uma distância de dois metros, uma distância correspondente a oito vezes o raio da bobina (Kurs, *et al.*, 2007). O desafio no acoplamento por ressonância magnética é concretizado quando as bobinas de transmissão e recepção estão alinhadas coaxialmente. Uma rotação de 45° no alinhamento coaxial reduz o fator de acoplamento e ao carregar vários dispositivos o acoplamento mútuo entre a bobina receptora e outros objetos pode causar interferência. Assim, projetar uma RSW com *magnetic resonant coupling* é um desafio devido às distâncias limitadas permitidas no acoplamento entre primário e secundário e a interferência na transferência de energia dos restantes nós (Engmann, *et al.*, 2018).

A *electromagnetic radiation* emite energia de uma antena transmissora para uma antena receptora através de ondas eletromagnéticas. As radiações eletromagnéticas são omnidirecionais e unidirecionais. A radiação omnidirecional transmite ondas eletromagnéticas na frequência ISM para um receptor com a mesma frequência. A radiação unidirecional, por outro lado, transmite da fonte para a antena receptora em uma frequência atribuída. Ondas eletromagnéticas omnidirecionais dissipam-se em longas distâncias e apresentam eficiência de 1,5 % na transferência de energia em distância até 30 cm. A radiação omnidirecional pode ser utilizada em nós sensor de baixa potência com atividades de baixa detecção para evitar riscos humanos. Para alcançar a transmissão de alta potência em antenas unidirecionais, são utilizadas frequências de micro-ondas de 2,45 GHz e 5,8 GHz, também pode ser utilizado o intervalo de espectro eletromagnético de infravermelhos. A radiação unidirecional não é adequada para RSW porque exigem caminhos desobstruídos com linha de visão.

Para a transmissão de energia já existe no mercado os transmissores Powercaster que fornecem uma fonte confiável de energia *wireless* para alimentar, à distância, dispositivos equipados com recetores Powerharvester. O TX91501b Powercaster Transmitter transmite ondas rádio na frequência ISM não licenciada de 915 MHz para transferir energia e dados *wireless*. Trabalha em temperaturas de -20°C a 50°C e garante uma potência de saída de 3 W e uma tensão de 5 V. O transmissor e os recetores efetuam carregamentos de baterias ou alimentam equipamentos que não têm bateria em aplicações comerciais e industriais. Quando conciliado com o P2110B Powerharvester e a antena direcional incluída no kit P2110-EVB, o TX91501b transfere energia e dados de 12 m a 15 m de distância (Powercast, 2020). Este equipamento constitui um bom exemplo de produtos existentes no mercado e que podem ser desenvolvidos para a incorporação em RSW.

5.3.4.1. Protocolo para transferência de energia wireless

A vida útil de uma RSW depende da duração das baterias dos nós sensor, que constituem o principal problema de desempenho e talvez o principal fator para a implementação em grande escala (Jamalipour & Azim, 2010). Assim, é proposta a conjugação da técnica de transferência de energia *wireless* (TEW) com o algoritmo baseado em Branch and Bound (B&B).

A TEW pode ser realizada através de campos próximos (*inductive coupling e magnetic resonant coupling*) ou através de campos distantes (*electromagnetic radiation*).

A *inductive coupling* pode ser usada em várias aplicações, como carregamento de telemóveis, enquanto o *magnetic resonant coupling* é utilizado em equipamentos onde as bobinas primárias e secundárias são tipicamente de grandes dimensões. A *electromagnetic radiation* ou energia obtida através de ondas de UHF (>1 GHz) é utilizada para transferir energia para dispositivos RFID e Zigbee de *ultra high frequency* (UHF) a uma distância de aproximadamente até 10 m. No entanto, as normas de saúde e segurança implicam limitação nos níveis de potência derivado da exposição dos seres humanos e restantes seres vivos às radiações eletromagnéticas (Saeed, *et al.*, 2018).

Em redes vastas e densas, em locais remotos e urbanos, mas também, para a maximização de recursos e aumento da vida útil da totalidade da rede, as tecnologias de TEW, cada uma com a própria vantagem e desvantagem, ajudam à transferência de energia de uma fonte de energia elétrica para um nó sensor. A introdução do algoritmo híbrido B&B na RSW, auxilia a TEW e tem bastante influência na

conservação de energia. Trata-se de um algoritmo que produz agendamentos e eficiência de carregamento nos nós sensor e que diminui três vezes o consumo de energia da rede devido à configuração conjunta com antenas transmissoras de energia em cada cluster.

O algoritmo de B&B consiste numa enumeração sistemática de soluções candidatas, através da pesquisa do estado das baterias no espaço. O conjunto de soluções candidatas é pensado como uma formação de uma árvore enraizada com o conjunto completo na raiz. O algoritmo explora os ramos da árvore, que representam subconjuntos do conjunto de soluções. Antes de listar as soluções candidatas de uma ramificação, o ramo é verificado através da estimativa entre os valores superiores e inferiores da solução ideal, escolhe a melhor solução e as restantes são descartadas. O cálculo de custo hierárquico e a atribuição de transmissores de energia aos nós sensor é baseado no custo mais baixo de transferência de energia (Adarsha, *et al.*, 2017).

Na implementação física, os nós sensor e os transmissores de energia são colocados aleatoriamente para subsequentemente o algoritmo B&B escolher a configuração específica de transmissão e de recepção de energia. Após a atribuição de transmissores de energia para os nós, o algoritmo agenda a transmissão de energia para determinado nó com base na distância entre o sensor e o transmissor. O sensor mais próximo de um transmissor de energia em particular é carregado primeiro e em seguida os restantes sensores são carregados. O carregamento é acionado quando o valor de potência da bateria é inferior ao valor programado. O transmissor de energia consiste em três antenas direcionais com setor de 120°. A localização do sensor é detetada e apenas um dos três canais programados do transmissor de energia é selecionado para transmissão de energia direcionada para a localização do sensor específico (Adarsha, *et al.*, 2017).

5.4. Sensores de tráfego

Existem diversos tipos de sensores para deteção de tráfego motorizado e não motorizado, no qual, está associada uma teoria de ação eletrónica do equipamento em relação aos fenómenos detetados e de configuração física na implementação.

O detetor *inductive loop*, permite a deteção da passagem e presença de veículos ou objetos de metal condutor através da indução de uma corrente elétrica no objeto. A composição do detetor consiste em uma ou mais voltas de fio de cobre embutidas no pavimento (efeito bobina), um cabo para efetuar a

ligação desde a alça de arame no pavimento até à *pull box* (caixa de passagem) e uma unidade eletrônica para o processamento do sinal e envio ao controlador. A passagem ou a presença de um veículo sobre a área de detecção, diminui a indutância do *loop*. A unidade eletrônica detecta a ocorrência como uma diminuição na frequência e envia um pulso ao controlador. A velocidade pode ser medida através da implementação de dois *loops* com distância conhecida e comprimento do veículo conhecido. A classificação do veículo pode ser efetuada através de uma unidade eletrônica com *firmware* específico.

Os sensores magnéticos são dispositivos passivos que detectam a presença de um objeto de metal ferroso através da perturbação (anomalia magnética) que provoca no campo magnético da Terra. Existem dois tipos de sensores de campo magnético, o magnetómetro fluxgate de dois eixos, que detecta veículos parados e em movimento e o magnetómetro de indução (referido como detector magnético) que normalmente detecta veículos em movimento. Alguns modelos transmitem dados por RF *wireless*.

Os detectores magnéticos, também conhecido como *search coil magnetometer*, trabalham com base num magnetómetro de indução que detecta alterações no campo magnético da Terra provocado pela presença de material ferroso na área de detecção. É um dispositivo simples, barato e robusto que apenas emite um pulso. Ideal para pavimentos deteriorados ou com formação de gelo regular, é normalmente utilizado para acionar semáforos a partir do tráfego ou simplesmente para a contagem de veículos. São sensores implementados na superfície do pavimento que normalmente detectam apenas veículos em movimento, com a exceção dos sensores *microloop*, e. g., o Canoga 702 da empresa Global Traffic Technologies, que através de software e configuração adequada na implementação física (normalmente fileiras de três sensores) possibilita a contagem, ocupação, classificação do veículo (comprimento) e a velocidade. São implementados na superfície do pavimento (7,6 cm) ou inseridos em mangas transversais na camada de sub-base ou leito do pavimento (46 cm a 61 cm). A sonda é conectada a uma unidade eletrônica através de um cabo, resultando numa aplicação que não requer qualquer tipo de manutenção (GTT, 2020).

Os sensores de radar de micro-ondas são dispositivos que transmitem energia eletromagnética de uma antena na direção dos veículos (objetos) que circulam nas vias. Quando um objeto passa pelo espectro da antena, uma parte da energia transmitida é refletida para um receptor que processa a reflexão do objeto e produz dados de fluxo de tráfego, como o volume, a velocidade e o comprimento do veículo. Existem duas tecnologias, o *doppler* de micro-ondas é um sinal de frequência constante que permite que a velocidade do veículo seja medida usando o princípio *Doppler*, mas que, não permite a detecção de veículos parados. A frequência do sinal recebido diminui com o afastamento de um veículo e aumenta com a aproximação. A passagem ou contagem de veículos é indicada pela alteração de frequência. A

tecnologia radar com *frequency modulated continuous wave* (FMCW) permite a detecção de tráfego motorizado e não motorizado, em movimento e parado (Klein, *et al.*, 2006).

Os sensores de infravermelhos podem ser ativos ou passivos. Os infravermelhos ativos (radares laser) iluminam a área de detecção com energia infravermelha de baixa potência transmitida por díodos laser que trabalha com espectro eletromagnético de 0,85 mm. Uma parte da energia transmitida é refletida para um receptor que processa o sinal. Permite a detecção em várias faixas de rodagem e calcula dados de presença do veículo para sinais de trânsito, de volume, velocidade, avaliação do comprimento, congestionamento (tamanho da fila) e classificação. Podem ser instaladas várias unidades sem interferência de sinal transmitido e recebido. A elevada capacidade de classificação de veículos permite a utilização em aplicações logísticas (Klein, *et al.*, 2006).

Os infravermelhos passivos não transmitem energia própria, detetam a energia emitida por veículos, superfície do pavimento, outros objetos no campo de visão e a energia emitida pela atmosfera e refletida por veículos, superfícies do pavimento ou outros objetos na área de detecção do sensor. A implementação sobre e na lateral da estrada permite a detecção e processamento do tráfego em tempo real para controlo de semáforos, comunicação com veículos, detecção de volume, velocidade, classe de tráfego motorizado e detecção de peões (tráfego não motorizado) (Klein, *et al.*, 2006).

Os sensores acústicos passivos (*passive acoustic array sensors*) medem a passagem, a presença e a velocidade do veículo através da detecção de energia acústica ou sons audíveis produzidos pelo tráfego motorizado, de uma variedade de fontes dentro de cada veículo e da interação dos pneus com o pavimento. Quando um veículo passa pela área de detecção, o algoritmo reconhece o aumento da energia do som e processa o sinal de presença do veículo. Quando o veículo sai da zona de detecção, o nível de energia do som reduz, abaixo do limite de detecção, desativando o sinal de presença do veículo.

Os sensores de ultrassons transmitem ondas de pressão (de pulso ou princípio *doppler*) de energia sonora de frequência entre 25 KHz a 50 KHz, que está acima da faixa audível pelos humanos. A maior parte dos sensores de ultrassons trabalha com formas de onda de pulso e fornece informações de contagem, presença e ocupação de veículos. As ondas de pulso medem a distância entre o transmissor e a superfície do pavimento e criam uma área de detecção. Quando a distância é alterada, o sensor assume a presença de um veículo (Klein, *et al.*, 2006).

O sistema de detecção por vídeo, normalmente consiste em uma ou mais câmaras, um computador para digitalizar e analisar as imagens e um software para interpretar as imagens e convertê-las em dados de fluxo de tráfego. Um sistema de detecção através de câmaras de vídeo pode substituir vários *inductive loop* e fornecer detecção de veículos em várias faixas (Klein, *et al.*, 2006).

Os sensores de tráfego apresentam diferentes características e devem ser escolhidos mediante os objetivos de detecção e as características da área de implementação. Assim, na Tabela 4 são apresentadas as principais características para auxiliar na tomada de decisão.

Subsequentemente são expostas as opções de tecnologias de sensores, consideradas as mais importantes para a implementação em *smart cities*, por reunirem em um equipamento a possibilidade de detectar a totalidade dos dados de fluxo de tráfego motorizado e soluções para a detecção de tráfego não motorizado.

Tabela 4 - Alguns elementos a considerar para a decisão de implementação de tecnologias de sensores de tráfego.

Tecnologia de sensores	Algumas característica intrínsecas a considerar
Inductive loop	Fornecer parâmetros básicos de tráfego (volume e ocupação). Os fios do <i>loop</i> sofrem influência das tensões do tráfego e da temperatura. Dificuldade na detecção e medição da velocidade em projetos com variedade de classes de veículos.
Sensores magnéticos	Insensíveis a elementos climáticos. Alguns modelos transmitem dados por RF wireless. Permite detecção e classificação de veículos motorizados e bicicletas. Resistente a anomalias magnéticas.
Detetores magnéticos	Alguns modelos são instalados no leito ou sub-base do pavimento. Não necessita de manutenção.
Radar de micro-ondas	Medição direta da velocidade. Possibilidade de detecção de múltiplas faixas de rodagem. Permite recolha de dados permanente ou de curta duração. Permite a monitorização conjunta de bicicletas e peões.
Infravermelhos ativos e passivos	Eficiência sensível a chuva forte, neve e nevoeiro denso. Requer manutenção periódica para limpeza das lentes.
Ultrassons e Acústicos	Turbulência do ar e temperaturas baixas afetam o desempenho. Requer seleção específica para tipos de tráfego (rápido, lento ou moderado).
Camara de video	Requer iluminação para os períodos noturnos. Manutenção periódica. Sensível a efeitos climáticos.

Fonte: (Klein, *et al.*, 2006 e FHWA, 2016)

5.5. Sensores magnéticos

Sensores magnéticos, são dispositivos passivos que detetam a perturbação ou anomalia magnética provocada no campo magnético da Terra por um objeto de material ferroso⁵⁵. O campo magnético da Terra, representa-se como um íman de linhas de fluxo vertical desde o polo Norte até ao polo Sul e de linhas de fluxo horizontais na linha do Equador. Para um correto funcionamento, em todo o mundo, os sensores com magnetómetros têm de estar calibrados para os eixos horizontais e verticais.

Um material ferroso, aquando da passagem ou presença, é sempre acompanhado por uma assinatura magnética, que em maior ou menor percentagem está sempre presente nos veículos motorizados, onde estão incluídas as bicicletas. As bicicletas regulares, atuais, resultado do desenvolvimento dos polímeros que possibilitou a produção de equipamentos em liga de alumínio e de carbono, resistentes e mais leves apresentam uma assinatura magnética menor. Os fluxos magnéticos terrestres distorcem porque os materiais ferrosos são mais permeáveis do que o ar atmosférico, registando-se uma diminuição do fluxo magnético nas partes da frente e de trás de um veículo e um aumento do fluxo magnético na parte de cima e na parte de baixo do veículo (Klein, *et al.*, 2006).

5.5.1. Magnetómetro fluxgate de dois eixos

Os magnetómetros fluxgate de dois eixos são sensores que detetam as alterações produzidas (assinatura) por um veículo com material ferroso (e. g., eixos, chassis, correntes e cabos de travões) nos fluxos verticais e horizontais do campo magnético da Terra. Detetam veículos em movimento e parados e, assim, fornecem informações de passagem e de presença (Klein, *et al.*, 2006).

Outros parâmetros de fluxo de tráfego, como a densidade, que corresponde ao número de passagens/capacidade da via, a velocidade, onde a velocidade estimada (\hat{v}) corresponde à relação entre o tempo de atraso (Δt) do registo da assinatura magnética entre pelo menos dois sensores instalados no pavimento com distância (R) conhecida ($\hat{v} = R / \Delta t$) e a classe ou classificação do veículo, que é determinada através das características da onda sinusoidal, devem ser inferidas a partir de algoritmos que interpretam ou analisam os dados medidos (Velisavljevic, *et al.*, 2016).

⁵⁵ Os metais ferrosos são o ferro fundido (teor de carbono igual ou superior a 2 %), o aço (teor de carbono inferior a 2 %) e o aço de construção (teor de carbono entre 0,2 % e 0,5 %). Os metais não ferrosos são a liga de alumínio, de carbono, o cobre, estanho, zinco, níquel e chumbo.

A classificação de veículos é de especial importância para, por exemplo, gerir os semáforos em tempo real de forma a garantir que os transportes coletivos e as bicicletas tenham prioridade nos cruzamentos.

São sensores que resistem às tensões provocadas pelos veículos no pavimento, são insensíveis a efeitos climáticos (chuva, neve, nevoeiro), detetam a presença de veículos por períodos consideráveis sem apresentar interferência de diafonia e podem transmitir dados por radiofrequência (RF) *wireless*. A instalação e manutenção requerem um corte na camada de desgaste do pavimento, implicando o corte da faixa de rodagem. Uma instalação inadequada pode diminuir a vida útil do pavimento.

São compostos por uma bobina com dois enrolamentos primários em séries opostas que recebem corrente de excitação de frequência adequada, normalmente 5 KHz, e dois enrolamentos de deteção secundários, que também carregam a polarização DC para neutralizar o campo quiescente da Terra. São conectados em série, em torno de um núcleo de *permalloy*, tratado para produzir propriedades magnéticas saturáveis especiais que aumentam o sinal do segundo harmónico para comunicação com a unidade eletrónica do sensor. Um dos enrolamentos secundários deteta a componente vertical da assinatura do veículo, enquanto o outro, colocado a 90°, deteta a componente horizontal da assinatura. O eixo horizontal do magnetómetro é geralmente alinhado com a direção do fluxo de tráfego para fornecer deteção de presença na faixa de rodagem e rejeição de veículos na faixa adjacente. As frequências podem ser empiricamente calibradas para diferenciar os veículos por classe. Em resposta à anomalia do campo magnético ou assinatura magnética de um veículo, o circuito eletrónico do magnetómetro mede a tensão de saída gerada pelos enrolamentos secundários. O critério de deteção do veículo verifica-se quando a tensão excede um limite predeterminado. No processamento de presença de veículos, o sinal de deteção é mantido até o veículo deixar a área de deteção (Klein, *et al.*, 2006).

Os magnetómetros fluxgate de dois eixos podem ser utilizados em tabuleiros de pontes e viadutos onde a estrutura de suporte de aço não está revestida, em instalações temporárias nas autoestradas e em áreas em construção para controlo de sinais, porque os materiais ferrosos expostos têm pouca influência no desempenho do sistema. A sonda do magnetómetro e o cabo condutor, quando aplicável, tendem a resistir a pavimentos fendilhados.

Os magnetómetros são dispositivos passivos, não transmitem um campo de energia, portanto, uma parte do veículo deve passar sobre o sensor para que seja detetado. Consequentemente, um magnetómetro pode detetar dois veículos separados por uma distância de 30 cm (potencial para a contagem de veículos), por outro lado, não é um bom localizador do perímetro do veículo, existe uma incerteza de aproximadamente 45 cm, assim, é preferível a utilização de dois sensores próximos para determinar a classe e a velocidade do veículo em aplicativos de gestão de tráfego (Klein, *et al.*, 2006).

5.5.1.1. Configurações do magnetómetro

Um sistema com sensores do tipo magnetómetro é constituído por um ou mais sensores de magnetómetro, a unidade eletrónica do magnetómetro e o cabo de entrada ou rede *wireless* entre o sensor e a unidade eletrónica. Como as sondas estão incorporadas no pavimento, é possível a implementação do sistema em diversos climas, principalmente em áreas onde a amplitude térmica provoca expansão e contração das misturas betuminosas e a camada de desgaste sofre com a presença de limpa neves.

A configuração para a instalação de um magnetómetro depende de uma série de fatores que muitas vezes devem ser ajustados para projetar uma configuração ideal para um local específico. A seleção do local deve considerar que o sucesso da deteção depende da passagem de uma assinatura magnética sobre o sensor e que a dimensão da assinatura se aproxima do tamanho do veículo.

As áreas de instalação devem privilegiar locais onde não exista interferência dos campos magnéticos, como junto das caixas de visita ou tubos de grandes dimensões, proximidade de linhas de alta tensão, linhas de elétrico, recintos com estruturas de ferro e linhas de energia subterrâneas. Apesar de serem sensores tipicamente escolhidos para a instalação em tabuleiros de pontes, porque a presença de aço sobre ou sob a sonda tem pouco efeito no desempenho do sistema, deve-se instalar as sondas na distância máxima entre suportes ou colunas de aço. Poucas fontes são de intensidade suficiente para afetar uma sonda de sensor localizada a mais de 9 m da fonte. No entanto, onde o campo geomagnético, o ruído magnético e a força do campo magnético forem questionáveis, deve-se proceder a uma análise com equipamento adequado (Klein, *et al.*, 2006).

A instalação é realizada através de uma sonda rotativa que cria um buraco tubulado no pavimento, a uma profundidade e posicionamento específico para determinado equipamento (tamanho e tipo de sondas e características do produtor) e a finalidade de monitorização (tipo de deteção). As unidades introduzidas no pavimento são circunscritas com resina *epoxy* ou com cimento para selar o orifício e evitar a deterioração precoce do pavimento (Klein, *et al.*, 2006).

Dependendo das características e sensibilidade dos canais da unidade eletrónica, da assinatura magnética produzida pelos veículos e das instruções atribuídas pelos diversos fabricantes, é possível através de algumas diretrizes gerais representadas na Tabela 5 determinar um critério inicial para a implementação de sondas para cada classe de veículo.

Tabela 5 - Diretrizes gerais para a implementação de sondas de magnetômetro em vias rodoviárias com 3 metros de largura

Classe de veículo	Espaçamento entre sondas	Sondas por canal	Quantidade de sondas por via de rodagem	Profundidade
Pesados	1,5 m	6	1	0,60 m
Ligeiros	1,5 m	6	1	0,45 m
Motociclos <300 cm ³	1,2 m	4	2	0,30 m
Motociclos >300 cm ³	0,9 m	3	2	0,16 m
Bicicletas	0,9 m	2	3	0,16 m

Fonte: (Klein, *et al.*, 2006)

A conexão da unidade eletrônica às sondas do magnetômetro requer dois pares de condutores por canal. Um par fornece a corrente de excitação da ponta de prova e o outro carrega o sinal de retorno. As propriedades do cabo tornam-se especialmente significativas em longas distâncias de transmissão de mais de 600 m. Os cabos devem combinar capacidade de distância com alta imunidade ao ruído e tolerância ambiental. O comprimento de entrada permitido diminui conforme o número de pontas de prova aumenta. Geralmente, o comprimento de entrada não deve exceder 1200 m para um arranjo de 12 sondas por canal. Se forem usadas 6 pontas de prova por canal, o comprimento de entrada não deve exceder 1500 m (Klein, *et al.*, 2006).

Quando as unidades têm baterias de lítio, requerem uma manutenção mais frequente, de acordo com a durabilidade das baterias que normalmente são de três a cinco anos. No entanto, se o condutor de corrente de excitação se mantiver, seria possível a integração de um painel fotovoltaico para gerar a energia, e assim, proceder apenas à substituição no período de falha do sensor.

Um exemplo de uma série de equipamento que são compatíveis para realizar a análise completa do estado físico de uma determinada área, é o magnetômetro Groundhog G-8 da Nu-Metrics, compatível com o QTT Road Weather Information Systems (RWIS) da Campbell Scientific e o sistema IntelliZone AdvanceWarn (Enterprise Flasher Company, 2020).

O magnetômetro Groundhog G-8, é um sensor *wireless* autônomo alimentado por uma bateria (*Lithium thionyl chloride*) de 3 V com durabilidade até 3 anos, que fornece dados de contagens (total e média diária), velocidade e classificação (comprimento do veículo) de tráfego motorizado. O equipamento (invólucro plástico) com dimensões de 15,24 cm x 8,26 cm é instalado na superfície do pavimento e comunica para o *Local Base Unit* (LBU), que pode ser alimentado a partir de baterias carregadas por energia solar, pela frequência 928 MHz ou 2,4835 GHz a uma distância máxima de 183 m (recomendada 91,4 m) (Enterprise Flasher Company, 2020).

O RWIS típico inclui uma torre, uma *Remote Processing Unit* (RPU) ou *Datalogger*, dois sensores de pavimento e hardware de comunicação remota, bem como sensores para a medição da velocidade e direção do vento, temperatura do ar, humidade, pressão atmosférica, radiação solar e precipitação. Comunica através da opção de diversos protocolos (NTCIP, TCP/IP, DNP3, FTP, *modbus*, *email/text*) através de determinado hardware (celulares, satélite, Wi-Fi, *ethernet*, RF).

O IntelliZone AdvanceWarn é um software compatível com todos os equipamentos da Quixote Transportation Technologies e os produtos da U.S. Traffic Corporation. É um sistema autónomo que utiliza matrizes de decisão e algoritmos para determinar mensagens adequadas. O RWIS recolhe os dados dos sensores de tráfego, sensores de pavimento e sensores meteorológicos e o software IntelliZone analisa os dados e envia uma mensagem para todos e rádios e placares de aviso rodoviários, atualizando automaticamente e em tempo real a informação para os condutores (Enterprise Flasher Company, 2020).

Outro exemplo, é o sensor VDS240, desenvolvido pela empresa Sensys Networks, que deteta a presença e o movimento de veículos motorizados e de bicicletas, com recurso a um magnetómetro fluxgate de três eixos⁵⁶. O sensor intrusivo, aplicado em um orifício com 10 cm de diâmetro e no máximo 17,8 cm de profundidade, mede o campo magnético da Terra numa taxa de amostragem de 128 Hz. Em uma aplicação típica no centro da faixa de rodagem, mede a velocidade e o comprimento do veículo com o recurso a dois sensores com distância recomendável dependente da velocidade esperada, em coletoras, de 6,1 m a 7,3 m, em distribuidoras 3,1 m a 3,7 m. O sensor é programável para detetar diferentes veículos, como bicicletas, scooters, motociclos, veículos de passageiros, veículo leves sobre carris e, na ausência destes, mede continuamente o campo magnético local para criar uma referência para autocalibragem periódica. Transmite na frequência de 2.4 GHz a 2.4835 GHz (ISM) através do protocolo de camada física IEEE 802.15.4. Tem uma bateria de 3,6 V com 8,5 Ah com uma esperança de vida útil de 10 anos e trabalha em temperaturas de -40°C a 85°C (Sensys Networks, 2020).

⁵⁶ Os estratos terrestres são constituídos por diferentes estratos litológicos com diferente permeabilidade e suscetibilidade magnética, resultando em diferentes campos magnéticos (fortes e fracos) que exibem anomalias magnéticas dentro do campo magnético normal. O magnetómetro fluxgate de três eixos permite alta precisão e alta sensibilidade (direção e magnitude) ao medir simultaneamente os campos magnéticos da Terra nos eixos x, y e z (dentro e fora do plano). Como o magnetómetro não têm nenhum valor de referência e o campo magnético total (B) de cada partícula da Terra não muda $B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$.

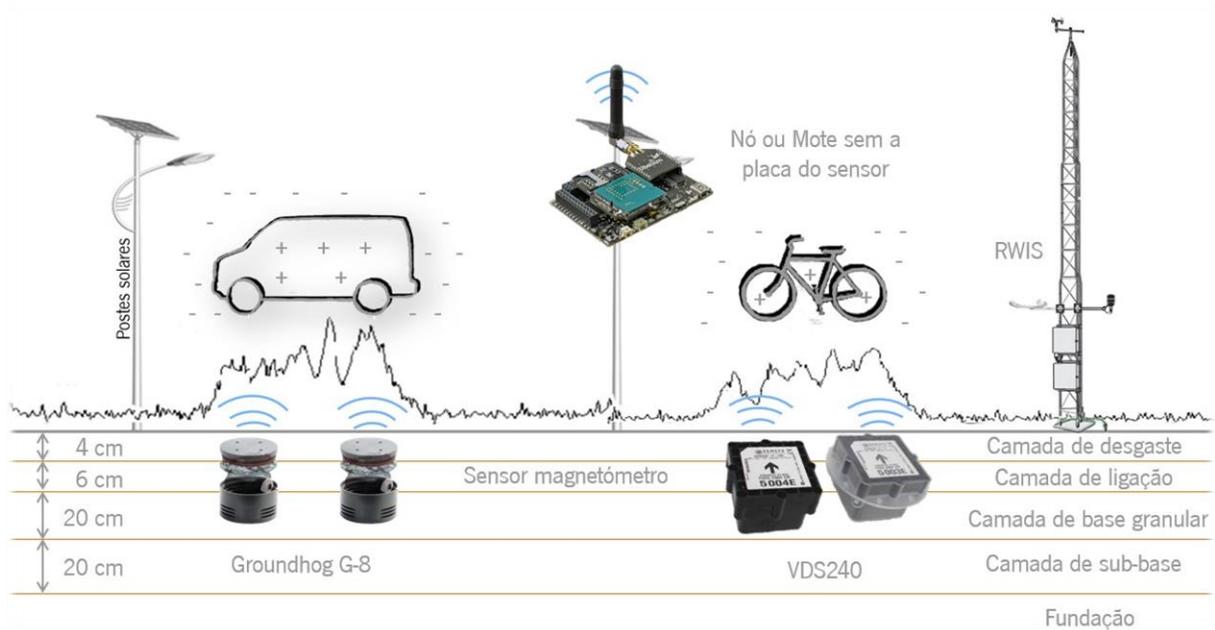


Figura 9 – Representação da implementação de magnetômetros na superfície de pavimentos flexíveis (Sensys Networks, 2020, Enterprise Flasher Company, 2020 e Libelium, 2020).

5.5.2. Sensor magnético despertado por sensor ótico

Grande parte das soluções para a recolha de dados, quando implementadas a grande escala, traduzem-se em investimentos avultados, exigem trabalhos de manutenção e requerem infraestruturas para o abastecimento de energia. Por outro lado, as redes de sensores *wireless* (RSW) apresentam-se como um potencial para a implementação em vastas áreas de território urbano e rural sem necessidade de estruturas físicas consideráveis e com consumo de energia reduzido.

Os sensores magnéticos baseados em *magnetoresistors*, por serem resistentes a fatores climáticos e de dimensões reduzidas, podem ser implementados para a deteção de veículos em parques de estacionamento privados ou na via pública, parquímetros, abertura automática de portões, controlo de semáforos, controlo de tráfego e controlo de travessia ferroviária (Sifuentes, *et al.*, 2011).

Os principais componentes de um nó em RSW são, um sensor, um processador, um transceptor e uma fonte de energia. No modelo sugerido por (Sifuentes, *et al.*, 2011), o processador é o microcontrolador MSP430F2274 de baixa potência (8 MHz) com um despertar menor que 6 μ s. O sensor magnético é o AAH002 da NVE Corporation, um sensor *Giant Magnetoresistive* (GMR) compacto e de baixo custo com uma sensibilidade típica de 11 mV que funciona em temperaturas de -50°C a 150°C.

O sensor ótico é um *Light Dependent Resistor* (LDR) NORPS-12 da Silonex, com uma célula fotocondutiva com *cadmium sulphide* (CdS), com uma resposta espectral similar ao olho humano, tem uma resistência ao escuro de 1 M Ω e à luz de 5,4 k Ω e trabalha em temperaturas de -50°C a 150°C. O transceptor, é um Telegesis ETRX2 da Silicon Labs de baixa potência que trabalha na frequência ISM (frequências reservadas internacionalmente para o desenvolvimento *industrial scientific and medical*) de 2,4 GHz, com base num chip dedicado à rede EM250 Zigbee/IEEE 802.15.4. da Ember.

O nível de iluminação depende das fontes naturais e artificiais de luz disponíveis e quando um veículo estaciona em cima de um sensor a luminosidade reduz significativamente.

Quando o veículo estaciona o sensor magnético com um sensor ótico incorporado, que está sempre ativo com um consumo de corrente reduzida, deteta a redução da iluminação resultante da presença do veículo ou de qualquer outro objeto. Ao detetar a redução de luminosidade, desperta o sensor magnético, que distinguirá objetos ferrosos de qualquer outro material (assinatura magnética). Quando o sensor ótico deteta uma alteração suficiente na iluminação, a tensão no microprocessador aciona uma solicitação de interrupção, em seguida o transceptor é despertado (3 ms) e um algoritmo calcula a alteração em relação a um valor de base previamente determinado e armazenado (a componente vertical do campo magnético da Terra na ausência de qualquer material ferroso) e verifica se a alteração excede ou não um determinado limiar.

Se a comparação for positiva, presume-se que existe um veículo, o transceptor envia uma mensagem para a estação base a indicar que a vaga de estacionamento está ocupada (1). Subsequentemente, o nó sensor muda do modo de deteção de interrupção, com consumo de 5,5 μ A, para a deteção periódica (modo de votação) executando o *watchdog timer* (WDT) a 1,5 kHz, com um consumo de apenas 2,6 μ A, e mede o valor a cada 20 segundos para determinar se o veículo ainda está estacionado.

Quando o veículo sai da zona de deteção, o transceptor envia uma mensagem para a estação base para indicar que o local está vazio (0) (Sifuentes, *et al.*, 2011).

Quando existe uma condição escura e a alteração é inferior à linha de base, não é enviada nenhuma mensagem (*null*). Esta situação, que pode derivar de uma iluminação local de baixo nível ou da janela do sensor com sujidade ou a sombra de um veículo estacionado, em qualquer situação, é acionado o modo de votação com períodos de 20 segundos para verificar se o valor medido satisfaz o algoritmo calibrado no local (características luminosas e magnéticas). Se as características magnéticas não forem satisfeitas o sensor reconfigura e volta para o modo de sono para aguardar o próximo evento de interrupção (iluminação reduzida).

Assim, um sensor ótico passivo de baixo custo, capaz de funcionar com potência reduzida, combinado com um sensor magnético mais seletivo (e exigente de potência) pode resultar em um sistema de detecção de veículos confiável, de baixo custo e de baixa potência, adequado para RSW. A utilização de um sensor de baixa potência para acordar um segundo que tenha um melhor desempenho pode ser estendido a outras aplicações.

Encontra-se no mercado diversos equipamentos para o controlo de estacionamento, entre eles o Hikob Wisecow SMP da empresa TagMaster, é um equipamento com comunicações *wireless* baseado em magnetómetro fluxgate de três eixos que deteta a presença de veículos com uma precisão de 98 %. Trata-se de um equipamento autónomo e programável com algoritmos que permitem a autoconfiguração da rede. O sensor é integrado em um invólucro desenhado em forma de tronco de cone, para a instalação na superfície do pavimento, com dimensão de 230 mm x 34 mm e com um peso total de 530 g. Trabalha em temperaturas de -40°C a 85°C e comunica da frequência 2.405 GHz à 2.480 GHz através do protocolo de camada física IEEE 802.15.4, com um alcance máximo de 200 m. Integra uma bateria de lítio de 3,6 V e 10,4 Ah que promete uma vida útil de aproximadamente 10 anos, dependendo da qualidade da cobertura de RF (Tagmaster, 2020).

A empresa Libelium, na promoção do Smart Parking, também destaca a durabilidade da bateria dependente de parâmetros como o número de pacotes enviados por dia e a distância dos nós à estação base para garantir uma vida útil de 4 a 10 anos. Este equipamento integra uma programação de modo noturno para economizar energia durante as horas de baixa procura.

O Smart Parking apresenta características distintas do anterior, nomeadamente, a detecção é realizada através de tecnologia radar (principal) combinada com magnetómetro (backup) para uma precisão de 99 % e a comunicação é realizada através do protocolo de comunicação LoRaWAN (*star networks*, longo alcance) (Libelium, 2020).

5.6. Sensor de tensões para pavimentos rodoviários

As infraestruturas do sistema de transportes, nomeadamente os pavimentos rodoviários flexíveis, semirrígidos e rígidos, requerem investimentos avultados para conservação e reabilitação (assegurar o desenvolvimento económico) e relacionam-se com outros critérios de sustentabilidade, através da reutilização de materiais granulares e betuminosos, gestão do espaço densamente ocupado e

impermeabilizado e na procura de tecnologia eficiente que permita a monitorização contínua a longo prazo de forma a garantir uma manutenção oportuna e eficiente para a satisfação da qualidade de serviço e concretização de pavimentos perpétuos.

A verdadeira condição estrutural do pavimento e a taxa de deterioração são atributos fundamentais para um planeamento eficaz das atividades de conservação. Para monitorizar as condições estruturais do pavimento, como as degradações por fendilhamento (e. g., fadiga por flexão), a recolha de dados é realizada através de equipamentos específicos introduzidos em viaturas que detetam apenas os danos visíveis existentes na camada de desgaste (Lajnef, *et al.*, 2013).

Através do método de deflexões é possível efetuar uma análise estrutural do pavimento com recurso a equipamentos como o defletómetro de impacto ou o *traffic speed deflectometer*. São equipamentos que prometem resolver algumas preocupações estruturais, no entanto, são dispendiosos e propensos para períodos de análise semestrais ou anuais.

A tecnologia atual não permite a monitorização contínua e de longo prazo porque a limitação e periodicidade de substituição imposta pela utilização de baterias dificulta a implementação de sensores numa vasta extensão de pavimentos. No entanto, através do conceito de captação de energia e do processo de conversão de energia ambiente é possível converter a energia cinética da vibração estrutural ou tensão mecânica em energia elétrica para alimentar o sensor.

O projeto conduzido pela Federal Highway Administration (FHWA) desenvolveu uma rede de sensores de baixo custo distribuída longitudinalmente pelo pavimento. Cada nó sensor é autoalimentado e capaz de monitorizar e armazenar continuamente os níveis de deformação dinâmica com base no tráfego atual e no histórico de cargas por eixo (algoritmo). Os dados de todos os sensores são periodicamente lidos via *wireless* e carregados para um banco de dados central através de um leitor instalado num veículo.

O sistema baseia-se na integração de um transdutor piezoelétrico com um circuito computacional de matriz *floating gate* (FG) de ultra-baixa potência (Lajnef, *et al.*, 2013).

O projeto usa os princípios da física do transistor FG (MOSFET⁵⁷) para calcular os padrões de deformação cumulativa mecânica aplicada na estrutura do pavimento.

O sensor autónomo, trabalha continuamente com a energia elétrica (mínimo de 2,3 V) gerada e recolhida diretamente do sinal de deteção induzido por um transdutor piezoelétrico⁵⁸ (CEB-35D26) fixado na camada de desgaste. O tamanho do elemento piezoelétrico ativo, utilizado como sensor e fonte de

⁵⁷ Um transistor FG é um *metal oxide semiconductor field effect transistor* (MOSFET) cuja porta de *polysilicon* é completamente envolvida por um isolamento de alta qualidade de dióxido de silício (SiO₂) resultando na retenção de qualquer carga elétrica por períodos longos de mais de oito anos (atraente para projetos com memórias não voláteis).

⁵⁸ Um transdutor piezoelétrico é um tipo de transdutor eletroacústico que permite a conversão da pressão mecânica (e. g., cargas do tráfego) em uma força elétrica alternada (AC). É usado para medir a quantidade física como a força, pressão, stress e a tensão que não é possível medir diretamente.

energia, depende do nível desejado de sensibilidade e precisão exigida em cada nó de medição. A amplitude das deformações medidas determina o tamanho do transdutor a ser implementado.

O dispositivo completo, composto por uma placa de eletrônica analógica, uma placa de interface e um elemento piezoelétrico é revestido por uma camada de um material rígido e fino composto por *epoxy* GY-6010, espuma de poliuretano e resina de uretano com enchimento mineral, para proteger das tensões e temperaturas durante e depois da pavimentação (espalhadora e cilindro de pneus).

A forma do revestimento do sensor está intimamente ligada ao método de detecção de danos e às características de resistência a serem alcançadas. No caso dos sensores que medem a distribuição de deformações, o revestimento é em forma de H para permitir a deformação conjunta do sensor e do pavimento (Lajnef, *et al.*, 2013).

Devido ao nível baixo de corrente no sistema, a comunicação *wireless* é efetuada através de um modulo de RF específico que transporta os dados do sensor ao mesmo tempo que capta a energia do leitor de sinal instalado no veículo.

A energia do modulo de RF, dissociada dos circuitos de cálculo e armazenamento, é obtida através da técnica de RFID *inductive coupling*. Quando um sinal de 13,56 MHz é aplicado à antena do leitor (TRF7960 *chipset*), um fluxo magnético variável no tempo é induzido através da bobina de indução do sensor e estabelece a tensão através de indutância mútua. A indutância mútua é diretamente proporcional à distância entre os dois indutores e as suas dimensões. A distância de leitura de dados entre o leitor e o sensor depende da *parasitic capacitances*, induzida no processo de fabricação da antena do leitor e da entrada do sensor (Lajnef, *et al.*, 2013).

5.7. Sensores radar de micro-ondas

O *radio detection and ranging* ou radar de micro-ondas foi desenvolvido para detetar um objeto, dentro de um volume de cobertura, através da emissão de radiação eletromagnética e da recessão do eco dos objetos de interesse (e. g., veículos motorizados, bicicletas, pessoas). São ideais para aplicações externas de longo alcance. Ao contrário dos restantes sensores de reflexão da energia transmitida, laser infravermelho e ultrassons, são insensíveis a condições meteorológicas adversas.

As micro-ondas, são o comprimento de onda (α) da energia transmitida, geralmente de 1 cm a 30 cm ($10^{-1} \alpha$) correspondente à frequência de 1 GHz a 30 GHz (10^9 Hz). Os radares com espectro de

radiofrequências acima de 30 GHz, trabalham no espectro de ondas milimétricas, porque o α da energia transmitida é expresso em milímetros (Klein, *et al.*, 2006).

Os sensores de radar utilizados nas infraestruturas do sistema de transportes normalmente apresentam transmissões de RF de 10,525 GHz a 34 GHz, enquanto a RF utilizada pelos equipamentos radar de curto alcance do interior dos veículos motorizados, utilizados para evitar colisões, detecção de obstáculos e controle automático de velocidade, utilizam a RF de 47,5 GHz a 47,8 GHz, de 76 GHz a 77 GHz (Klein, *et al.*, 2006) e a frequência dos 79 GHz, identificada como a mais adequada para o desenvolvimento e a utilização a longo prazo dos equipamentos de radar de curto alcance para veículos ligeiros (Diário da República, 2006).

Altas frequências, com um determinado tamanho de antena, iluminam áreas menores do solo e inferem uma maior resolução espacial. A largura do espectro ou área no qual a energia do radar está concentrada é controlada pelo tamanho e pela distribuição da energia na abertura da antena. Quando um veículo ou uma pessoa passa pela RF emitida pela antena, uma parte da energia transmitida é refletida para um recetor que processa os dados de fluxo de tráfego, como o volume, a velocidade e o comprimento do veículo (classificação).

Os sensores radar podem ser montados no meio de uma faixa de rodagem (espectro estreito), para medir os fluxos da própria faixa ou aplicados paralelamente (ampla largura de espectro) à via para medir os parâmetros de tráfego em várias faixas (menor precisão) (Klein, *et al.*, 2006).

Existem dois tipos de sensores de radar de micro-ondas, os sensores *Doppler*, que transmitem uma onda contínua (*Doppler* ou radar de onda contínua) para detetar apenas veículos em movimento e os radares de *frequency modulated continuous wave* (FMCW) que detetam a presença e a passagem de veículos ou de outro qualquer objeto.

5.7.1. Frequency modulated continuous wave

Os dados recolhidos do tráfego dependem do tipo e da respetiva forma da onda transmitida. A distância (R) do radar para o veículo é proporcional à diferença da frequência (Δf) do transmissor no período (t_1) em que o sinal é transmitido e no momento (t_2) em que é recebido. Onde, Δf é a diferença instantânea da frequência do transmissor, em Hz, no período em que o sinal é transmitido e recebido,

ΔF , é a largura de banda da modulação da RF em Hz, f_m corresponde à modulação da frequência em Hz e c é a velocidade da luz (3×10^8 m/s).

$$R = \frac{c \Delta f}{4 \Delta F f_m} \quad (5.1)$$

A resolução de alcance (ΔR) ou distância mínima para o radar distinguir alvos, em metros, de um sensor radar FMCW é:

$$\Delta R = \frac{c}{2 \Delta F} \quad (5.2)$$

Se um radar trabalhar na frequência de 10,500 GHz a 10,550 GHz e a largura de banda for limitada a 45 MHz (45 000 000 Hz), em vez de 50 MHz completos, para garantir que a intensidade do campo seja reduzida em pelo menos 50 dB fora da frequência, a ΔR é no máximo 3,34 m (Klein, *et al.*, 2006).

O radar FMCW mede a velocidade de um veículo através do parcelamento do campo de visão na direção do fluxo do veículo em caixas de alcance. Uma caixa de alcance permite que o sinal refletido seja repartido e identificado em pequenas áreas da estrada. A velocidade (v) do veículo é calculada a partir da diferença de tempo (ΔT) de detecção do veículo entre duas caixas de alcance e a distância (R) conhecida entre caixas de alcance.

$$v = \frac{R}{\Delta T} \quad (5.3)$$

Quando montados lateralmente, os sensores de radar FMCW podem monitorizar o fluxo de tráfego até oito faixas de rodagem. Com o sensor alinhado perpendicularmente à direção do fluxo de tráfego, as caixas de alcance são automaticamente ou semiautomaticamente, dependendo do modelo do sensor, ajustadas para sobrepor uma faixa de rodagem, permitindo a recolha de dados de fluxo de tráfego em várias faixas separadamente. Os radares FMCW também podem usar *Doppler* para calcular a velocidade dos veículos em movimento (a frequência do sinal contínuo aumenta com a aproximação do veículo e diminui com o afastamento) (Klein, *et al.*, 2006).

Na monitorização dos fluxos de tráfego, as características de detecção da presença dos veículos, permitem realizar o controlo de semáforos de viragem à esquerda, fornecer dados em tempo real para sistemas de sinalização, monitorizar congestionamento, classificar os veículos e recolher dados de

ocupação e velocidade (apenas modelos de detecção múltipla) com o suporte de algoritmos de detecção de incidentes.

As características de detecção do movimento dos veículos servem para medir a velocidade dos veículos nas vias que privilegiam a circulação (coletoras, distribuidoras) (Klein, *et al.*, 2006).

5.8. Detecção de tráfego não motorizado

O tráfego não motorizado (peões e bicicletas) normalmente adquire dinâmicas em vias que privilegiam a função de acessibilidade (distribuidora secundária, distribuidora local e de acesso local) que normalmente têm fluxos de tráfego motorizado mais baixo.

Muitas das tecnologias utilizados para detetar ou contar ciclistas e peões são semelhantes às usadas para contar veículos ligeiros e pesados, no entanto, as configurações dos sensores e os algoritmos de processamento do sinal costumam ser diferentes (FHWA, 2016).

A monitorização do tráfego não motorizado envolve alguns desafios tecnológicos relacionados com a movimentação irregular, imprevisível e em grupo dos peões e ciclistas. Apesar da segregação modal no desenho urbano, são habituais os movimentos individuais e em grupo através de atalhos à procura de percursos mais curtos e rápidos para chegar ao destino e de circunstâncias em que, por qualquer motivo, se realiza uma paragem. Estes movimentos podem passar por fora ou obstruir a área de atuação do sensor, provocando a diminuição da precisão e alguns sensores têm dificuldade em diferenciar um indivíduo dentro do grupo, resultando em desconsideração na contagem real (FHWA, 2016).

As novas perspetivas de mobilidade envolvem o aumento considerável de modos ativos em percursos do quotidiano e a convivência com tecnologias para a recolha massiva de dados. A implementação de RSW envolve a disposição física de bastantes nós com intervalos de aproximadamente 100 m para garantir as comunicações. Estes nós, quando aplicada uma placa do sensor com um sensor específico (radar), podem auxiliar na detecção de uma área ampla e garantir o apoio aos sensores principais. Este tipo de apoio certamente envolveria contagens duplicadas que serviriam para estabelecer comparações e influenciar a média final para reduzir a margem de erro associado à heterogeneidade humana.

Ao contrário dos veículos, os peões não incitam as variações de indutância no campo magnético da Terra, mas produzem sinais que podem ser facilmente detetados por outros sensores. Os magnetómetros projetados para tráfego motorizado podem detetar quadros de bicicletas feitos de materiais não ferrosos

(alumínio, fibra de carbono, titânio), contudo não são projetados com esta finalidade e a implementação exigem um aumento significativo de equipamento (sondas e unidades eletrônicas) (FHWA, 2016).

Os sensores radar de micro-ondas, são capazes de detetar, não apenas veículos, mas também, peões, bicicletas e um qualquer objeto na berma ou no passeio da via. Através do conhecimento e refinação das características de reflexão do espectro de RF é possível detetar objetos com elevada precisão, contudo, não se pode esperar que os peões sigam um caminho específico em direção ao destino pretendido, nem se pode esperar que tomem uma ação específica para possibilitar a deteção pelo controlador de sinal (FHWA, 2016).

Quando necessário, o processamento de imagens de vídeo, apesar da implementação e manutenção com maiores custos, pode ser uma mais-valia para a fiabilidade dos dados recolhidos. O processamento da imagem é efetuado através de um sofisticado reconhecimento de padrão visual para possibilitar a identificação de peões e ciclistas no campo de visão da câmara de vídeo. O elemento crítico para a contagem precisa de ciclistas e peões são os algoritmos e software de reconhecimento de padrões, e.g., *machine learning*, que devido às exigências do mercado têm sido constantemente refinados para a deteção e contagem de tráfego motorizado e não motorizado (Klein, *et al.*, 2006). O processamento das imagens de vídeo pode distinguir peões e ciclistas que viajam em grupo ou que estão parados em determinado local. A tecnologia também distingue a direção da viagem e, potencialmente, seguir o tráfego não motorizado através do campo de visão.

Em complemento, as imagens de vídeo gravadas podem ser úteis para estudar o comportamento dos ciclistas e peões, para resolver preocupações de segurança e para garantia de qualidade e desenvolvimento dos serviços através do tratamento das imagens com recurso a mão de obra qualificada (FHWA, 2016). O clima e a iluminação podem reduzir a precisão, exige manutenção periódica para limpeza de lentes e as câmaras necessitam de uma fonte de energia permanente (Klein, *et al.*, 2006).

Das diversas tecnologias existentes é necessário verificar as respetivas características para verificar se a deteção de peões e bicicletas podem ser realizadas em simultâneo ou separadamente e se permite a monitorização a curto ou a longo prazo (smart cities exigem monitorização perene e sustentável).

(FHWA, 2016) e (Eco Counter, 2020).apresentam uma solução que combina os *inductance loop* com *infrared passive* para contagem permanente e separada de ciclistas e peões.

Os *inductance loop*, induzem uma corrente AC baixa, através de um enrolamento de fio (efeito bobina) com determinadas configurações embutido no pavimento. A corrente AC cria um campo eletromagnético sobre a configuração de fio e um objeto condutor (veículo pesado, ligeiro, motociclos e

bicicleta) ao passar através do campo, interrompe-o, e se os critérios medidos (assinatura) corresponderem aos predeterminados (bicicleta) o objeto condutor é processado (contado).

Os sensores *infrared passive* utilizam um transmissor de sinal, apenas em um lado da área de detecção e funcionam através da identificação da alteração de calor na área de detecção. Se o diferencial de calor e o padrão corresponder aos critérios predefinidos, uma detecção ou contagem será registrada. Individualmente, o sensor *infrared passive* não diferencia as pessoas a caminhar ou a pedalar, mas, combinado com o detetor *inductance loop* as contagens de ciclistas são automaticamente subtraídas das contagens do sensor *infrared passive* (FHWA, 2016).

O Urban MULTI da Eco-Counter, combina o *infrared passive* implementado na lateral da via e o *inductance loop* implementado na superfície do pavimento para a contagem de grandes grupos de peões e de ciclistas separadamente. O sistema de contagem completo (*logger*, sensores e bateria) é introduzido numa caixa de aço galvanizado, comunica através de 3G/GSM e a bateria tem a duração de dois anos (Eco Counter, 2020).

Trata-se então de uma opção de mercado e uma possibilidade para refletir dentro da emergente tecnologia para tráfego não motorizado. No entanto, a tecnologia radar apresenta potencialidades incontornáveis e a empresa Sensys Networks apresenta a tecnologia patenteada e compatível com magnetómetro para detecção (passagem e presença) de bicicletas, peões e para aplicações em parques de estacionamento. O sensor Micro Radar VSN240-M-2, incorpora um radar de posição fixa, gerido pelo protocolo Sensys Nano Power (SNP), que trabalha no espectro eletromagnético da frequência 6,3 GHz, de banda larga (>500 MHz) e com baixo consumo de energia. O espectro do radar deteta no ângulo de 20° a 90° com alcance programável de 1,2 m a 3 m. A bateria de lítio (Li-SOCl₂), não recarregável, de 3,6 V e 7,2 Ah oferece um período de vida útil até oito anos, dependendo do modo de trabalho. A comunicação é efetuada através do protocolo de camada física IEEE 802.15.4 na frequência 2,4 GHz até 2,4835 GHz (ISM). O dispositivo é introduzido num invólucro com dimensão de 7,4 cm x 7,4 cm x 6,6 cm e trabalha em ambientes de -40°C a 85°C. As reflexões de RF são analisadas para produzir medições de presença, distância e movimento. Esta implementação no pavimento pode detetar comboios, veículos ligeiros, veículos pesados, bicicletas e detetar e distinguir objetos grandes e pequenos, dependendo do canal escolhido pelo utilizados. O desempenho do equipamento é afetado em condições de água parada e de lama (Sensys Networks, 2020).

Os atravessamentos em locais adequados são de especial importância para maximizar os fluxos de tráfego e conciliar o tempo de paragem dos veículos com o tempo de atravessamento dos peões e ciclistas. O detetor de peões AGD326 da empresa AGD Systems, permite a detecção de peões e ciclistas

em passadeiras ou outras aplicações onde a segurança pedonal é necessária. O sensor radar FMCW trabalha em uma frequência de 24 GHz e apresenta um espectro eletromagnético com um alcance até 24 m e uma largura de 10 m. Montado sobre a estrada a uma altura de aproximadamente 3 m é incorporado em um invólucro de policarbonato com dimensões de 10,8 cm x 0,50 cm x 17,4 cm e com um peso de 650 g. Trabalha em temperaturas dos -15°C a 60°C e pode ser alimentado a 12 V (1,6 W, 66 mA) ou 230 V (2,2 W, 10,1 mA). A comunicação é efetuada na frequência 2,412 GHz a 2,472 GHz, mas, essencialmente, para configuração remota (AGD touch-setup) (AGD, 2020).

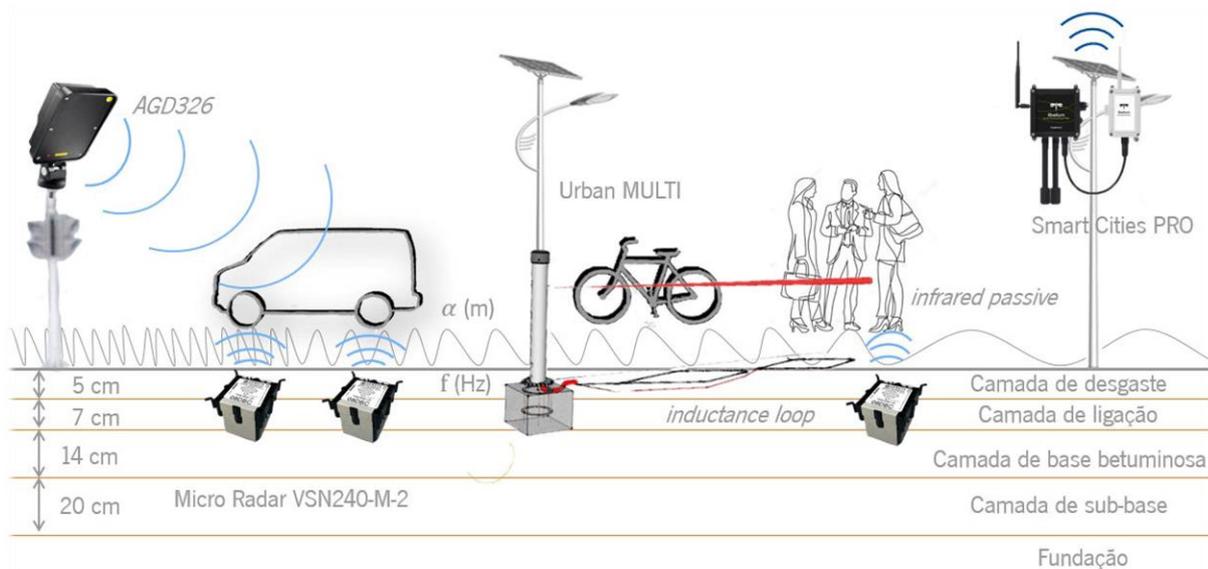


Figura 10 – Representação da implementação da tecnologia radar de micro-ondas na superfície de pavimentos flexíveis, sobre e na lateral da estrada para a detecção de tráfego motorizado e não motorizado (Sensys Networks, 2020, AGD, 2020 e Eco Counter, 2020).

5.9. Transportes públicos

Todos os viajantes devem sentir-se seguros ao movimentar-se pela rede de transporte. Os veículos e as infraestruturas devem garantir uma monitorização constante, através de funcionários vigilantes ou câmaras de vídeo para persuadir os ataques pessoais e garantir a prontidão dos serviços de socorro e emergência (Bell, *et al.*, 2003).

Os gestores do sistema de transportes públicos confrontam-se com o desafio estratégico de manter a alta qualidade dos serviços, redução dos custos operacionais, garantias de segurança e mitigação dos impactes ambientais na otimização da mobilidade da população. Neste sentido, existem sistemas de

monitorização que avaliam desempenhos específicos dos processos operacionais para verificar a garantia de qualidade (e. g., minimização de atrasos).

O modelo de dados Transmodel é o modelo europeu de dados de referência para o sistema de transportes públicos, é a matriz para uma linguagem comum, a definição de padrões de troca de dados que permitem a partilha e disponibilidade de informação interoperável e precisa entre organizações e sistemas, que fornece um modelo abstrato, estruturas de dados e conceitos comuns para impulsionar o desenvolvimento dos sistemas de informação do transporte público (Transmodel, 2020).

Os passageiros, antes, durante e depois da viagem, necessitam de informação em tempo real consistente, completa e correta sobre a viagem. A disponibilidade de informação é possível através de um sistema que permita a integração dos tradicionais transportes coletivos com os modos alternativos, como táxi e *carsharing*, a descrição de rotas que incluem *bikesharing* e outras soluções intermediárias ou de *last mile*, assim como, as distâncias a percorrer, a localização das paragens, estações e interfaces de transportes público para garantir ao utente uma informação detalhada e orientação no espaço.

Os principais pacotes Transmodel fornecem informações para os operadores e utentes da rede de transporte e os principais conceitos, como rotas, linhas, padrões de viagem, paragens intercalares e estações do início das rotas. São disponibilizados dados em tempo real sobre a localização dos serviços de transporte espalhados pela rede, como atrasos, avanços, horas de espera, previsões de chegada, o número de lugares vagos e ocupados através de tecnologias de localização automática de veículos ou de contagem automática de pessoas. Também é possível encontrar informação sobre o sistema tarifário utilizado, estatísticas para apoiar a tomada de decisão dos operadores e informação referente aos diversos operadores que atuam na mesma área, permitindo resolver problemas de gestão de serviços oferecidos por vários operadores (Transmodel, 2020).

Para um sistema de mobilidade combinada ou MaaS ter sucesso é crucial que os diferentes sistemas técnicos envolvidos possam ser perfeitamente combinados para garantir o nível de qualidade de detalhe nas respetivas áreas.

O sistema de navegação por satélite é o equipamento mais utilizado para a obtenção da localização de transportes públicos. Permite a receção do sinal de diversos satélites para calcular a localização, latitude, longitude, altitude e a velocidade do veículo. A deteção do veículo por satélite permite uma monitorização económica e confiável, gestão do combustível, otimização de rotas, comportamentos dos condutores, minimizar os tempos de espera e segurança dos passageiros e condutor.

O *Global Navigation Satellite System* (GNSS) em conjunto com outros dispositivos que permitam a captação de imagem digital para caracterização do espaço envolvente e a comunicação *wireless* dos

dados de diversos tipos de sensores, e. g., gases poluentes, é possível garantir uma monitorização eficaz do veículo, partilhar a informação com os utentes, que detêm um *smartphone* com determinada aplicação ou com acesso à internet para consulta de um sítios específicos e aproveitar as rotas regulares dos transportes públicos para monitorizar o espaço envolvente em cooperação com as autoridades locais.

O GNSS é um conjunto de satélites que transmite sinais do espaço com dados de localização e tempo (velocidade) requisitados por recetores GNSS (navegação e topográficos). Os principais conjuntos de satélites são o Galileo da Europa, o Global positioning system (GPS) dos EUA, o Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS) da Rússia e o Sistema de Satélites de Navegação BeiDou da China.

Galileo é o GNSS da Europa que fornece um serviço de localização, navegação e cronometria global com grande precisão. O sistema composto por 24 satélites operacionais, seis unidades sobresselentes e respetivas infraestruturas terrestres, permite a interoperabilidade com GPS e GLONASS. Permite que os utilizadores através de equipamentos do quotidiano, como *smartphones* e sistemas de navegação do veículo, obtenham informações de localização mais precisas e, fornece um precioso auxílio para serviços de socorro e emergência, como bombeiros, proteção civil, serviços de socorro a náufragos (10 minutos para localizar pessoas equipadas com *radio beacon* com uma precisão de aproximadamente 2 km) e para o sistema de transportes em geral, como a gestão de frotas (EGNSSA, 2020).

Existem diversas vantagens na incorporação do GNSS em aplicativos de mobilidade inteligente que podem melhorar a eficiência e conforto do transporte rodoviário. A navegação é a aplicação mais difundida, fornecendo indicações passo a passo aos condutores. As unidades *on-board* de gestão de frotas transmitem informações de localização GNSS através de telemática para apoiar os operadores de transporte na monitorização do desempenho das atividades de logística.

Os serviços de monitorização de tráfego rodoviário por satélite recolhem os dados de localização dos veículos através dos dispositivos portáteis de navegação, dos sistemas no veículo e de *smartphones* para processamento de informações de tráfego para utentes e *stakeholders*.

A condução autónoma e conectada, usufrui de um serviço com maior precisão de localização para o auxílio na condução autónoma e a possibilidade de partilha de dados V2V em áreas remotas, contribuindo para a criação de plataformas integradas de suporte aos serviços de mobilidade.

Permite a comunicação da localização de sinistros, para a prontidão de operações de socorro e emergência. Controlo de rotas de mercadorias perigosas, com comunicações periódicas de localização em conjunto com outros dados recolhidos pelos sensores no interior do veículo e diversos aplicativos

para controle de frotas, como a posição e a hora do veículo em diferentes localizações e, permite o pagamento de taxas pela utilização das infraestruturas do sistema de transportes.

A micro mobilidade é uma excelente alternativa ao veículo particular em curtas distâncias, produz mais uma opção de transporte, para além dos transportes coletivos e incentiva a partilha de veículos. Os modelos de negócio, e. g., *bikesharing*, evoluíram e criaram plataformas com livre localização de embarque e desembarque, onde os utilizadores podem deixar e recolher os veículos em qualquer parte da cidade, colocando o GNSS num papel de destaque na localização de equipamentos. Após a introdução das bicicletas sem doca, o número de bicicletas disponível em todo o mundo cresceu de cerca de um milhão de unidades em 2015 para quase 21 milhões de bicicletas em 2019, prevendo-se para o ano de 2025 um aumento substancial para 45 milhões de bicicletas com receitas que rondaram 66 milhões de euros (European GNSS Agency, 2019).

O conceito de *smart city* prospera pelos planos territoriais de diversas divisões administrativas e o investimento em tecnologias *smart* apresenta-se como uma certeza na manutenção sustentável de recursos. Conciliar as rotas regulares dos transportes públicos com a monitorização da iluminação pública, manutenção de vias rodoviárias, controle de infrações e fluxos de tráfego e gestão de resíduos, constitui um conceito inteligente para o planeamento estratégico das cidades do futuro.

O projeto GHOST (Galileo *enhancement as booster of the smart cities*) consiste na incorporação de uma camara, habilitada com uma combinação de tecnologia Galileo, Kalman *filter*⁵⁹ e *inertial sensors*⁶⁰ em transportes coletivos com *wireless local area network* (WLAN). A tecnologia procura a eficiência urbana, aliando as rotas regulares dos transportes coletivos com a monitorização das infraestruturas e serviços urbanos (GHOST, 2020).

O sistema capta imagens de pontos de interesse predefinidos com base na posição precisa do veículo, fornecida pelo Galileo, o que resulta em uma margem de erro de 1 m a 10 m, dependente do tamanho do ponto de interesse. Todas as imagens são enviadas para um servidor de processamento capaz de detetar anomalias, como degradações no pavimento ou LED dos postes de iluminação fundidos, para posteriormente enviar as deteções para as instituições competentes.

O GHOST foi desenvolvido para detetar e comunicar anomalias na iluminação pública, deteriorações de pavimentos e bermas, monitorizar a recolha dos resíduos público e, através do processamento de imagens em tempo real, detetar infrações de estacionamento em segunda fila, em lugares para

⁵⁹ O Kalman *filter* é um algoritmo que calcula uma série de medidas observadas ao longo do tempo, contaminadas com ruído e outras incertezas, para criar resultados que tendem para valores reais.

⁶⁰ *Inertial sensors* são sensores baseados em inércia e princípios relevantes de medição. Vão desde os *micro electro mechanical systems* (MEMS), com alguns milímetros, até ao *ring laser gyroscopes* de alta precisão com um tamanho de até 50 cm.

deficientes e na via BUS. O GHOST também pode ser implementado em *smartphones* para os cidadãos, gratuitamente, captar fotografias georreferenciadas de alguma anomalia detetada, e assim, ter uma participação ativas na gestão do património urbano (GHOST, 2020).

5.10. Meteorologia e gases poluentes

O principal objetivo de fornecer informações meteorológicas aos utilizadores é melhorar a segurança rodoviária e a eficiência do sistema de transporte rodoviário. Um utilizador devidamente informado com informações de alta qualidade poderá reagir e adaptar a viagem, o comportamento da condução, promover uma alteração de rota, optar por diferentes modos de transporte e programar uma hora de partida (Klein, *et al.*, 2006). O congestionamento em dias pluviosos tende a diminuir com o planeamento da viagem com diferentes rotas e horas de partida e a sinistralidade beneficia com os condutores informados e com comportamento de condução adaptados às condições ambientais.

Os dados meteorológicos podem ser recolhidos através de *road weather information systems* (RWIS) montados na lateral das vias rodoviárias, permitindo a recolha de uma variedade de dados, como a velocidade e direção do vento, temperatura e humidade do ar, tipo e taxa de precipitação, visibilidade, estados da superfície do pavimento, como temperatura, estado húmido ou seco e análises para determinar aplicação de produtos químicos redutores de gelo. Sensores especializados permitem medir a visibilidade através do nevoeiro e utilizar os dados para controlar sinais luminosos que avisam os condutores das condições de visibilidade reduzida. Muitos destes sistemas são alimentados por energia solar e podem transmitir dados por comunicação *wireless* (Klein, *et al.*, 2006).

Para gerir as infraestruturas do sistema de transportes em áreas urbanas e contribuir para a qualidade do ar local, a recolha de dados de GEE e de gases poluentes auxilia na determinação de estratégias específicas de adaptação para evitar aumentos significativos de poluição atmosférica que afete a saúde pública.

Os sistemas de monitorização climática integram diversos sensores que fornecem dados específicos para variadas aplicações e promovem a cooperação entre diversas entidades portuguesas, nomeadamente, a Infraestruturas de Portugal, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), para desenvolver estratégias que permitam mitigar as emissões de poluentes atmosféricos de forma a garantir os objetivos de redução até 2030-2050.

O concelho de Guimarães, não detêm uma estação automática climatológica do IPMA (Braga e Cabeceiras de Bastos), apenas os serviços da Câmara Municipal disponibilizam informação no sítio oficial de quatro estações localizadas no Centro Histórico, Penha, Caldas das Taipas e no Laboratório da Paisagem. A monitorização da qualidade do ar é realizada na estação da rua Cónego Dr. Manuel Faria, na freguesia de Azurém e gerida pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte (CCDR-N).

Através de equipamentos implementados em localizações estratégicas, provisórias ou definitivas, é possível recolher dados que complementem as informações das estações existentes de meteorologia e de qualidade do ar, para agrupar e analisar um conjunto de dados amplo e diversificado em um sistema interoperável e ubíquo, para assim, garantir a maximização da qualidade da informação disponibilizada ao utilizador e *stakeholders* para o auxílio na tomada de decisão.

Existe no mercado diversos sensores de monitorização climática e de gases poluentes, entre eles, o sistema integrado Smart Cities PRO da empresa Libelium, que permite a recolha e comunicação *wireless* dos dados das características do ar e a realização de mapas de ruído (dBA) através da monitorização em tempo real dos níveis acústicos (Figura 10).

O equipamento integra um sensor de nível de ruído (LAeq em dBA), um de partículas (PM₁, PM_{2,5} e PM₁₀), de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), oxigénio (O₂), monóxido de azoto (NO), dióxido de enxofre (SO₂), amónia (NH₃), metano (CH₄) e outros gases combustíveis, sulfeto de hidrogénio (H₂S), o dióxido de azoto (NO₂) e o ozono (O₃), que são os principais gases causadores de mortes prematuras, sensores de temperatura, humidade, pressão atmosférica e ultrassons (medição de distância). Os diversos sensores são inseridos em dois invólucros (gases e som) de policarbonato com dimensões idênticas de 12,4 cm x 12,2 cm x 8,5 cm e um peso de aproximadamente 800 g.

A comunicação é efetuada através de um *waspmote* com opção de diversos fornecedores de serviços de comunicação *wireless* (Zigbee, LoRaWAN, WiFi, 4G). A alimentação é efetuada diretamente na rede ou através da opção de uma bateria externa recarregáveis de lítio com 6.600 mA e 3,7 V, que dependendo dos ciclos de sono do dispositivo, apresenta autonomia de meses a anos, acompanhada por um painel solar de 500 mA e 7 V com dimensões de 23,4 cm x 16 cm x 1,7 cm para recarregar e prolongar o período de vida útil da bateria. Os sensores de gases têm uma vida útil de seis meses e obrigatoriedade de troca das sondas para garantir a máxima precisão (Libelium, 2020).

5.10.1. Princípio de funcionamento

O Smart Cities PRO é um equipamento bastante completo e compacto que deixa transparecer um futuro promissor para a sensorização em smart cities. No guia com instruções detalhadas do equipamento foi possível recolher a informação das características eletrônicas dos sensores de gases, de gases combustíveis e dos sensores de CO₂.

Constata-se que a tecnologia está cada vez mais evoluída e os *microelectromechanical systems* (MEMS) permitem a produção de sensores cada vez mais pequenos e incorporados em apenas um componente, como o caso do sensor BME280, da empresa Bosch, que permite a medição da temperatura, humidade e pressão atmosférica em um componente de metal com dimensões de 2,5 mm x 2,5 mm x 0,93 mm (Bosch, 2020).

Como se pode visualizar na Figura 11, um nó sensor ou mote é composto por um módulo com antena (transceptor) para efetuar as comunicações (e. g., Zigbee) e uma placa do sensor, com dimensões de 73,5 mm x 51 mm x 13 mm onde incorpora um elemento transdutor (Libelium, 2020).

Numa RSW com abundância de nós colaborativos, existe a possibilidade da incorporação de diversos tipos de sensores, nas correspondentes placa do sensor, de acordo com o objetivo de monitorização, fonte de alimentação, capacidade da bateria, técnica de captação de energia ou de transferência de energia adaptada a cada situação.

Os sensores meteorológicos e de gases poluentes têm um princípio de funcionamento diferente dos sensores de deteção de tráfego.

Os sensores de gases são células eletroquímicas que trabalham por amperometria, i. e., geram uma corrente⁶¹ que é linearmente proporcional ao volume fracionário do gás detetado. Sensores eletroquímicos são uma classe de sensores em que o elétrodo⁶² é o elemento transdutor. Quando o gás entra na camara através de uma membrana, ocorre a oxidação ou redução devido à reação do gás com o gel, gerando uma pequena corrente, que é linear à concentração do gás (Libelium, 2020).

Os sensores de gases combustíveis, como o CH₄, utilizam a tecnologia *pellistor* para detetar a concentração de gás. Um *pellistor* consiste em uma bobina de fio muito fino de platina envolvido em um *pellet* de cerâmica. Na superfície do *pellet* existe uma camada de metal nobre, que quando aquece, atua como um catalisador para promover a oxidação exotérmica (libertação de energia térmica) de gases

⁶¹ Corrente elétrica é o fluxo ordenado de eletrões. O ampere (A) é a intensidade de uma corrente elétrica constante. Eletrão é a partícula fundamental carregada com energia negativa responsável pelas forças de ligação entre átomos nas moléculas. Molécula é uma espécie química, eletricamente neutra, formada por um ou mais átomos.

⁶² Elétrodo é o terminal utilizado para conectar um circuito elétrico a uma parte metálica ou não metálica ou solução aquosa (polos positivos e negativos).

inflamáveis. A bobina aquece o *pellet* e o catalisador subjacente, quente, na presença de um gás ou vapor inflamável permite que a oxidação ocorra através de uma reação química semelhante à combustão. A reação liberta calor e aumenta a temperatura do dispositivo que resulta em uma alteração na resistência elétrica da bobina, o qual, constitui o sinal do sensor (Libelium, 2020).

Os sensores de CO₂ baseiam-se na tecnologia de infravermelhos ou de catalítico. Os sensores infravermelhos têm por base a curva de absorção de luz única e bem definida que cada gás tem no espectro infravermelho, permitindo identificar um gás específico. A concentração de gás pode ser determinada através de uma fonte infravermelha adequada e da análise da absorção ótica da luz que passa através do gás. Os sensores infravermelhos não perdem a sensibilidade devido ao envenenamento químico e não precisam da presença de oxigênio para funcionar apropriadamente como os tradicionais sensores catalíticos. Contudo, a saída dos sensores infravermelhos pode ser afetada pela alta humidade, alteração da temperatura e pressão, fatores que normalmente não afetam os sensores catalíticos.

Os sensores catalíticos têm como base a ponte de Wheatstone, que permite medir um valor de uma resistência (Ω) elétrica desconhecida. Existem dois elementos, o detetor e o compensador. O detetor consiste em um fio formado por uma liga de platina com material catalítico (ação de materiais na velocidade das reações) e o compensador, um material idêntico, mas, sem a parte catalítica. O gás inflamável em contacto com o detetor oxida apenas o elemento catalítico, que por sua vez, aquece e aumenta a resistência, criando uma variação de corrente elétrica diretamente proporcional ao aumento da temperatura do filamento (Libelium, 2020).

No caso dos sensores meteorológicos, o princípio de atividade de um barómetro, consiste na deteção da pressão atmosférica através do efeito em uma estrutura flexível, onde o grau de deformação de uma membrana é proporcional à pressão e traduzida em um sinal elétrico.

Uma tecnologia típica de sensores de temperatura é o *resistance temperature detector* (RTD) que consiste em um enrolamento de fio de cobre, níquel ou platina em torno de um núcleo de cerâmica ou vidro. Os RTD contêm uma resistência variável que altera o valor da resistência (Ω) à passagem de elétrons (corrente elétrica) quando a temperatura altera. A Ω de um material depende da temperatura. Nos materiais condutores a Ω aumenta com o aumento da temperatura, nos materiais semicondutores a Ω diminui com o aumento da temperatura (Bosch, 2020).

Um sensor de humidade relativa *capacitive*, consiste em um condensador composto por um substrato, tipicamente de vidro, cerâmica ou silício e uma membrana de polímero ou óxido de metal (material dielétrico higroscópico) colocado entre dois elétrodos condutores. A superfície de deteção é revestida com um elétrodo metálico poroso para protegê-la da contaminação e exposição à condensação.

Quando não existe humidade, a geometria do sensor e a constante dielétrica do material determinam o valor da *capacitance*. Na temperatura ambiente normal, a constante dielétrica do vapor de água tem um valor muito superior à constante do material dielétrico do sensor, portanto, a absorção de humidade resulta em um aumento da *capacitance* do sensor. A humidade presente em um material dielétrico higroscópico depende da temperatura ambiente e da pressão do vapor de água do ar (humidade relativa). O sensor de humidade relativa calcula a relação direta entre a humidade relativa, a quantidade de humidade presente no material dielétrico higroscópico e a *capacitance* do sensor (Libelium, 2020).

Dos sensores mais importantes para monitorização ambiental, falta apenas os sensores de vento para verificar os ventos dominantes, diretamente correlacionados com ilhas de calor, nichos de concentração de poluentes e riscos dendrocaustológicos, fatores que perturbam a saúde pública e a normalidade do sistema de transportes. A medição da velocidade e direção do vento é efetuada por um anemómetro que normalmente detêm uma seção transversal elíptica de três copos e um catavento. Quando o vento detêm força suficiente para girar os copos e direcionar o catavento, o movimento é convertido em um sinal elétrico e um software específico calcula a velocidade e direção do vento e comunica para uma base de dados ou nuvem.

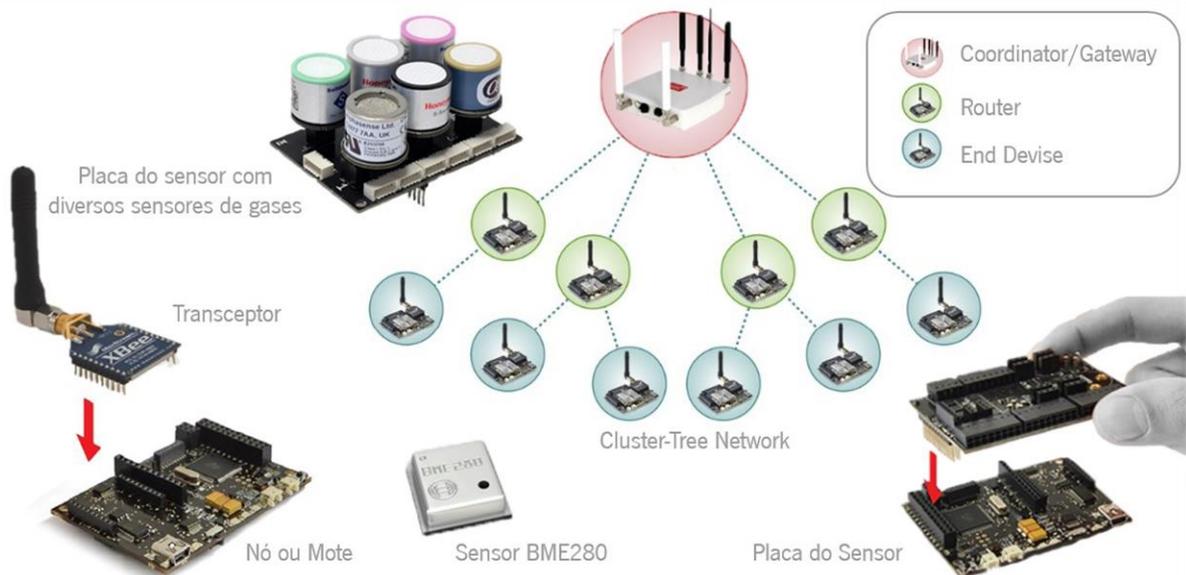


Figura 11 – Equipamento para realização de redes de sensores wireless (RSW) com sensores climáticos e de gases (Libelium, 2020 e Bosch, 2020).

6. APLICAÇÃO NA CIDADE DE GUIMARÃES

A cidade, um elemento vivo em constante mutação, produtora do habitat e do capital, desenvolvesse cronologicamente na profundidade das curvas do relevo, nas características demográficas, nas culturas e setores de atividade. Integra o setor dos transportes e as correspondentes infraestruturas em um elemento único e recíproco no cerne da multifuncionalidade.

A partir do momento em que se pensou ou planeou cidades é possível verificar a relação intrínseca entre o planeamento do território e o planeamento dos transportes. Os transportes são o utensílio que garante o desenvolvimento e a conectividade de objetivos comuns, enquanto a cidade proporciona o habitat (Pelletier & Delfante, 2000).

As funções da cidade envolvem o trabalho, a residência, o lazer e as comunicações (Pelletier & Delfante, 2000). A integração do conceito de *smart city*, em áreas urbanas consolidadas, promove a cooperação das tecnologias de informação e comunicação no objetivo de proporcionar um desenvolvimento económico sustentável capaz de aumentar a qualidade de vida, ao mesmo tempo que monitoriza as condições físicas e humanas do território, para garantir a otimização dos recursos sempre escassos (Ferreira, 2005) e a maximização dos serviços ao cidadão (Escolara, *et al.*, 2019). Este processo envolve a recolha massiva de dados individuais e coletivos, públicos e privados, com recurso a tecnologias emergentes, com o objetivo de produzir objetos para a satisfação das necessidades dos agentes económicos e subjugar o estágio natural, primitivo e tosco da produção (Marx, 1859).

6.1. Caracterização do território administrativo

O concelho de Guimarães localiza-se no noroeste de Portugal continental, no distrito de Braga, pertence à sub-região do Vale do Ave (NUTS III), limitado a Norte pelo concelho da Póvoa de Lanhoso, a Noroeste por Braga, a Oeste por Vila Nova de Famalicão, a Sudoeste por Santo Tirso, a Sul por Vizela, a Sudeste por Felgueiras e a Este pelo concelho de Fafe. Detêm uma área total de 241 km², distribuídos

por 48 freguesias, das quais, destacam-se nove vilas⁶³, Brito, Lordelo, Moreira de Cónegos, Pevidém, Ponte, Ronfe, Serzedelo, São Torcato e Taipas.

Analisando o perímetro administrativo da cidade de Guimarães, localização típica das relações de Poder e das atividades económicas do setor terciário com serviços especializados de valor acrescentado, verifica-se que é composto pela união de freguesias de São Paio, São Sebastião e Oliveira do Castelo e pela freguesia de Creixomil (4,56 Km²), uma área territorial manifestamente pequena, mas que, devido às características das relações funcionais no espaço, as freguesias contíguas de Azurém, Fermentões, Mesão Frio, Costa, Urgezes e Silvares (PDM, 2015) (27,87 Km²) também integram o perímetro administrativo da cidade de Guimarães e são tratadas em conjunto para critérios estatísticos, análises económicas e planeamento e ordenamento do território. Verifica-se assim, segundo o INE, em 2018, o concelho de Guimarães tinha uma população de 152.792 habitantes, do qual, 54.094 habitantes viviam na cidade. Apresentava uma densidade populacional de 634 hab/km² e uma taxa de crescimento efetivo de -3 %. Da população residente, 52,11 % são do género feminino e 47,89 % do género masculino.

Trata-se de um concelho caracterizado pela densa rede rodoviária que facilita o acesso a partir de qualquer ponto do país. É atravessado por diversas vias, municipais e nacionais, sendo as principais, a N101 que efetua a ligação entre Braga e Felgueiras (74 Km) e que ao passar por Guimarães, em uma extensão de aproximadamente 59 Km, detêm a importante tarefa de distribuidora principal, no acesso ao território administrativo da cidade. Na localização da vila das Taipas estabelece a dicotomia com a ER310, que efetua a ligação com a Póvoa de Lanhoso (28 Km).

A N105, que liga Guimarães a Santo Tirso (47 Km), encontra-se na freguesia de Nespereira com a N106 que estabelece a ligação com Vizela (5 Km).

A partir de Fafe, inicia-se a N206, que efetua o atravessamento de Guimarães através da N101 e N105, para voltar, na vertente oposta, a assumir a classificação de ER206 para completar a ligação com Vila Nova de Famalicão. A distância entre Fafe e Vila Nova de Famalicão é de 85 Km, dos quais, 18 Km passam no território administrativo do concelho de Guimarães.

O concelho de Guimarães é servido por uma rede supraconcelhia que permite um rápido transporte de pessoas e bens a nível regional, nacional e internacional. Através da autoestrada do Baixo Minho (A11/IP9), que estabelece para oeste, a ligação com Barcelos e Braga, e para Sul, passando pelo segmento A11/A7, a ligação com Vizela, Felgueiras, Lousada e Penafiel. A A11/IP9 têm ainda ligação à autoestrada do Douro (A7/IC5), com ligação à autoestrada de Entre Douro e Minho (A3/IP1), que permite

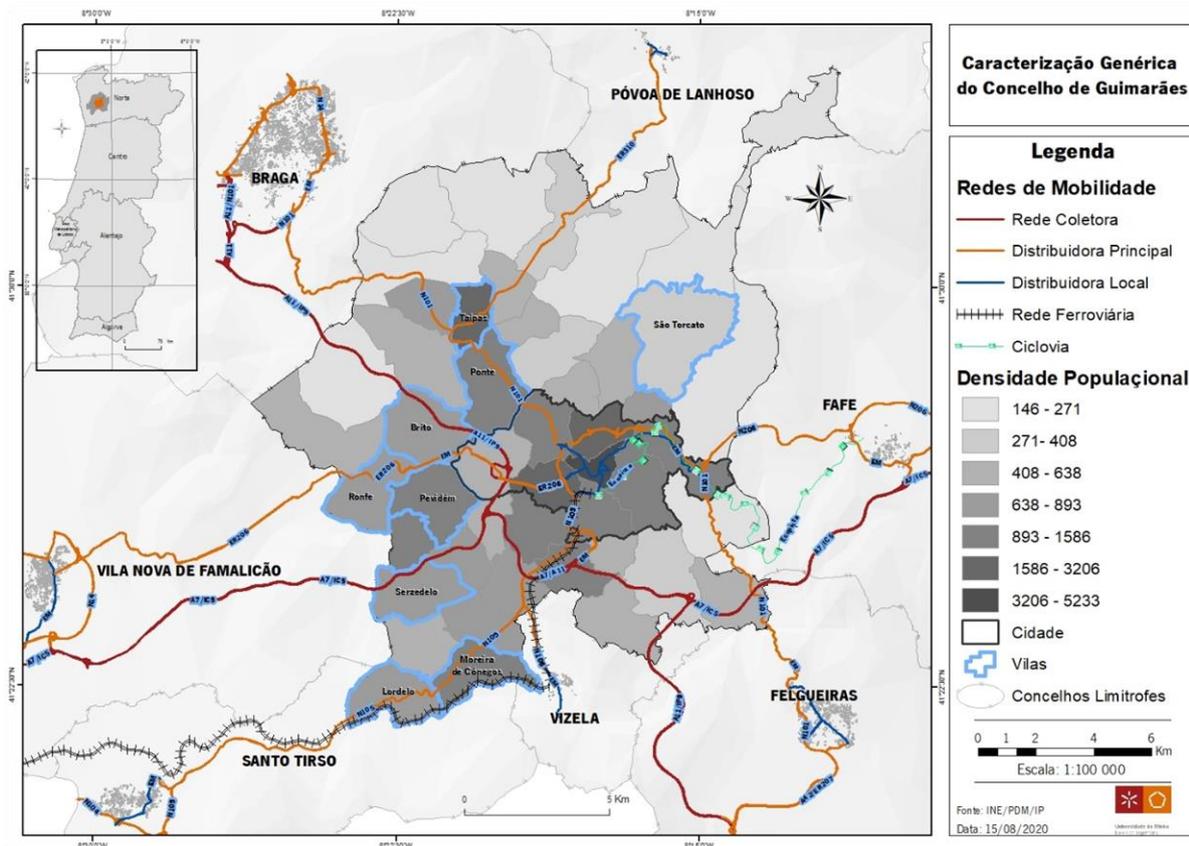
⁶³ Vila, é um aglomerado populacional contínuo, com um número de eleitores superior a 3000, possuindo pelo menos, metade dos seguintes equipamentos coletivos: Posto de assistência médica; Farmácia; Casa do Povo, dos Pescadores, de espetáculos, centro cultural ou outras coletividades; Transportes públicos coletivos; Estação dos CTT; Estabelecimentos comerciais e de hotelaria; Estabelecimento que ministre escolaridade obrigatória; Agência bancária.

o acesso ao Porto e subsequentemente, através da ligação à autoestrada do Norte (A1/IP1), a Lisboa. Através da A7/IC5 e da A3/IP1 é ainda facilitado o acesso à fronteira espanhola, em Valença. No concelho de Guimarães a A7/IC5 apresenta uma extensão de 17 Km e a A11/IP9 uma extensão de 22 Km. A extensão é partilhada, a Sul, em um segmento de estrada (A7/A11) de 9 Km.

Com uma estação ferroviária localizada próxima do aglomerado populacional central, o concelho de Guimarães é servido por comboios intercidades com ligação direta a Lisboa e por comboios urbanos que possibilitam os movimentos pendulares entre Guimarães e Porto. Ambas as opções asseguram o acesso ferroviário a outros destinos. A linha ferroviária, dentro dos limites administrativos do concelho de Guimarães, apresenta uma extensão de aproximadamente 13 Km.

A rede ferroviária que ligava o concelho do Porto a Guimarães (1884) e a Fafe (1907), viu o ramal entre Guimarães e Fafe desativado em 1986 abrindo a oportunidade para a requalificação da infraestrutura existente e a introdução da presente ecopista reservada às deslocações não motorizadas (Cândido, 2005). Atualmente, em um misto de paisagem rural e urbana, o percurso encontra-se totalmente requalificado possibilitando a utilização, desde a estação de comboios de Guimarães, na freguesia de Urgezes, até ao centro da cidade de Fafe, em uma extensão de 19 Km, dos quais, 12 Km nos limites administrativos de Guimarães e 7 Km nos limites administrativos de Fafe.

Para fins turísticos e de lazer, existe no concelho de Guimarães um teleférico que faz a ligação entre a freguesia da Costa e o monte da Penha. Inaugurado em 1995, efetua um percurso com um comprimento de 1665 m, desde a estação das Hortas, localizada a 192 m de altitude topográfica, até à estação da Penha que se encontra a 564 m de altitude. O percurso é efetuado em uma amplitude de 372 m, com um declive de 15 %, em um período de aproximadamente oito minutos a uma velocidade de 20 Km/h.



Mapa 2 – Principais redes de transporte de Guimarães e concelhos limítrofes, densidade populacional, localização das vilas e perímetro administrativo com relações funcionais da cidade.

6.2. O planeamento dos transportes e as alterações climáticas

O sistema de transportes não é um mero ator do circuito urbano, é a base de uma estratégia de construção que promove os resultados individuais em favorecimento do coletivo.

A mobilidade é a conceção da deslocação, de caminhar para conquistar, para conhecer, para recolher e transferir, é a solução estratégica da globalização, é a matriz do desenvolvimento económico. Sem modos de transporte que possibilitem a mobilidade, não é possível procurar uma nova oportunidade, garantir a coesão territorial e o desenvolvimento económico, apenas a concretização de um somatório, estanque, de economias locais.

A construção das cidades deriva das características físicas do território e da heterogeneidade social. Os serviços de transporte são dependentes das características demográficas das áreas de origem e das atratividades no destino, portanto, dependentes da densidade populacional, da localização dos serviços

e equipamentos, do planeamento das infraestruturas de acesso e do ordenamento do território para concretizar a eficiência do serviço.

A densidade populacional é um fator fundamental na rentabilização de um qualquer serviço. Um serviço dos correios ao domicílio, assimilando a comparação entre um prédio que alberga vinte agregados familiares e uma urbanização com vinte vivendas unifamiliares, verifica-se que, o custo do tempo e energia despendido para percorrer um grafo na urbanização é maior que o custo da distribuição em apenas um edifício. O mesmo exercício contempla uma paragem de transportes coletivos nas imediações do prédio e da urbanização. No prédio é possível introduzir um serviço de transportes de alta capacidade, pois, a proximidade de uma alta densidade possibilitaria a lotação da capacidade do transporte coletivo, contrastando como o percurso de 300 metros, de alguns dos habitantes da urbanização, considerado como dissuasivo em grande parte dos países desenvolvidos, levando à troca de opção de transporte, certamente privilegiando o veículo particular. O mesmo exercício para as instalações de água potável, residual, cabos elétricos ou de comunicações. As densidades são sinónimo de desenvolvimento e sustentabilidade económica, fazem parte das diretrizes para os planos territoriais e constituem uma estratégia para a rentabilização e eficiência dos serviços.

A escolha do modo de transporte é fortemente influenciada pelo objetivo da viagem, pela disponibilidade de transporte na hora de realização da viagem e pelo nível de serviço fornecido pelo sistema de transportes, que está diretamente relacionado com a rapidez da viagem.

A procura de transporte está diretamente relacionada com o nível de serviço fornecido pelo sistema de transportes e com a distribuição das atividades económicas no espaço (atratividades).

As áreas densamente ocupadas proporcionam elevados movimentos que resultam em congestionamento, na redução do nível de serviço e na inevitabilidade de um planeamento e gestão com o objetivo da maximização da ocupação do espaço existente.

As emissões de GEE dos transportes, amplamente dominadas pelo tráfego rodoviário, circunstância do rápido crescimento das frotas de veículos motorizados e do aumento do número de viagens (destino, duração, motivo), refletindo o aumento do rendimento familiar e o grande investimento em infraestrutura rodoviárias e consequente dispersão territorial, sofrem aumentos sucessivos, apenas mitigados por crises económicas cíclicas intrínsecas ao sistema capitalista e, esporadicamente, pela presente pandemia que provavelmente representará o maior decréscimo de emissões de GEE da última década e que já contribui para a efémera melhoria da qualidade do ar das cidades.

Estranho, e através de uma analogia reflete-se sobre a seleção natural ou da persistência do mais apto de Charles Darwin (1859), que resulta na conservação das diferenças e das variações individuais favoráveis e na eliminação das variações nocivas.

As variações insignificantes, isto é, que não são nem úteis nem nocivas ao indivíduo, não são certamente afetadas. Como a seleção natural atua apenas para o bem de cada indivíduo, todas as qualidades corporais e intelectuais devem tender a progredir para a perfeição. As formas antigas devem ser suplantadas pelas formas novas e aperfeiçoadas.

Em uma adaptação às alterações climáticas, menção ao processo de mitigação para evitar aquilo que não se pode gerir e ao processo de adaptação para gerir aquilo que não se pode evitar, encontra-se em qualquer localização, que seria bem preenchida, se, alguns dos habitantes originais se modificassem de uma maneira ou de outra, em primazia à suplantação por espécies invasoras bem-adaptadas.

A natureza, interpretada como uma ação combinada e os resultados complexos de um grande número de leis naturais, sendo as leis, uma série de factos reconhecidos (crescimento, hereditariedade, variabilidade da condição de existência, multiplicação das espécies e a luta pela existência) que determinam a divergência de caracteres e a extinção de formas menos aperfeiçoadas. O resultado direto desta guerra da natureza, que se traduz pela fome e pela morte é, o facto mais admirável que se pode conceber, a produção de animais superiores (Darwin, 1859).

Os transportes são fundamentais para garantir o desenvolvimento socioeconómico, simultaneamente, são uma fonte relevante de pressões ambientais, contribuindo para as alterações climáticas, para a poluição atmosférica e o ruído. A qualidade de vida depende de um sistema de transportes eficiente e acessível.

6.2.1. Clima do concelho de Guimarães

O concelho de Guimarães possui um clima temperado com características mediterrânicas, com forte influência atlântica, com maior quantidade de precipitação e menor duração da estação seca, com invernos frios e chuvosos e verões quentes e ligeiramente húmidos e com amplitudes térmicas anuais relativamente altas, essencialmente, devido às características do relevo, localizada num vale e rodeada por serras.

As linhas de água mais representativas são o rio Ave, o rio Vizela e o rio Selho e as características do relevo criam um elevado número de linhas de água, associadas a declives suaves e perturbações de escoamento que originam áreas com drenagem deficiente, com longos períodos de encharcamento e ocorrência de cheias durante o inverno.

As principais alterações climáticas projetadas para o concelho de Guimarães são a diminuição da precipitação média anual, podendo variar entre -3 % e -23 % no final do séc. XXI, relativamente aos valores observados no período 1976-2005. Nos meses de inverno não se verifica uma tendência clara, com as anomalias a variarem entre uma diminuição de até -18 % e um aumento de 15 %. Nas restantes estações do ano projeta-se uma diminuição, que pode variar entre -5 % e -32 % na primavera, entre -14 % a -39 % no verão e entre -9 % e -35 % no outono. Projetam-se secas mais frequentes e intensas derivadas da diminuição do número de dias com precipitação, entre 11 e 29 dias por ano.

Em relação à temperatura, projeta-se um aumento das temperaturas médias anual, entre 2°C e 4°C, no final do séc. XXI. Aumento acentuado das temperaturas máximas no outono e verão, entre 2°C e 6°C. Aumento do número de dias com temperaturas muito altas (>35°C), de noites tropicais com temperaturas mínimas >20°C e ondas de calor⁶⁴ mais frequentes e intensas.

Projeta-se a diminuição acentuada do número de dias de geada e um aumento da temperatura mínima, entre 1°C e 4°C no inverno e um aumento entre 2°C e 5°C no verão e outono.

Em relação aos fenómenos extremos, projeta-se, em particular, o aumento de precipitação intensa ou muito intensa (projeções nacionais) e tempestades de inverno mais intensas, acompanhadas de chuva e vento forte (projeções globais) (CMG, 2016).

6.2.2. Análise de vulnerabilidade

A abordagem ao ordenamento do território e ao urbanismo permite evidenciar as condições específicas de cada território e considerá-las na análise dos efeitos das alterações climáticas. Permite também, otimizar as respostas de adaptação, evitando formas de uso, ocupação e transformação do solo que acentuem a exposição aos impactos mais significativos, evidenciando as características intrínsecas da individualidade de cada área para concretizar soluções sustentáveis.

⁶⁴ Segundo a Organização Meteorológica Mundial, considera-se que ocorre uma onda de calor quando, num intervalo de pelo menos seis dias consecutivos, a temperatura máxima diária é superior em 5°C ao valor médio diário no período de referência (média dos últimos 30 anos).

Para análise das vulnerabilidades, a câmara municipal de Guimarães realizou um levantamento cronológico das principais incidências, no qual, o concelho já se encontra exposto, com particular atenção para a localização das áreas especialmente afetadas e potencialmente prioritárias em termos de intervenção, ocorridos no período de 2000 a 2014. Os resultados obtidos indicam que os principais impactos climáticos observados estão geralmente associados à precipitação excessiva (cheias/inundações) e ao vento forte (CMG, 2016).

Os impactos associados ao sistema de transportes terrestre resultam da precipitação excessiva que aumenta a probabilidade de ocorrência de deslizamentos e ravinamento nas vertentes e do déficit de drenagem ou encharcamento que propende para a suscetibilidade hídrica do solo da fundação e das camadas granulares dos pavimentos rodoviários, incitando o aparecimento de deformações longitudinais e transversais. Os impactos também resultam do vento forte que pode danificar infraestruturas e vegetação adjacente às vias rodoviárias e provocar falhas de energia, queda de cabos elétricos e queda de vegetação arbórea. Outro dos impactos que pode ser associado ao sistema de transportes é o já presente flagelo de riscos dendrocaustológicos, que devido à previsão do aumento das temperaturas e de secas mais frequentes e intensas, serão mais gravosos que no passado, podendo originar condicionamentos de tráfego, encerramento de vias e exsudação dos pavimentos.

6.2.3. Gestão de riscos

Para efeito de gestão de riscos, conclui-se que os riscos climáticos que apresentam um potencial de aumento mais acentuado e preocupante, por conseguinte, os mais prioritários, são os relacionados com a precipitação excessiva, do qual, resultam cheias, inundações e danos variados e, os resultantes do vento forte, que resultam na queda e transporte de objetos.

Ao assimilar os resultados da câmara municipal de Guimarães com o organograma de análise de vulnerabilidade e gestão de riscos da Figura 5.

O setor dos transportes, apesar do aumento da probabilidade de congestionamento e condicionantes à fluidez de circulação que promovem os atrasos e o stress diário, a emissão de GEE e de precursores para a troposfera, de ruído e de potenciais danos nas infraestruturas e viaturas, verifica-se que, o dano potencial, derivado do encerramento de vias rodoviárias devido a, principalmente, queda de ramos de árvores e infiltrações nos pavimentos ou áreas inundadas provenientes das dificuldades de drenagem,

resultado da suscetibilidade de ocorrência de vento forte e precipitação elevada, aparentam resultar em valores ou custos pouco significativos, que atribuem pouca relevância na prioridade das ações governativas de adaptação nas infraestruturas do setor. Contudo, mesmo sem apresentar uma matriz de risco, verifica-se que a perigosidade de acontecimento de determinado fenómeno que potencie um dano, está presente e suscetível a novos desenvolvimentos que aumentem a probabilidade de ocorrência (infiltrações em vertentes e pavimentos e drenagem desadequada).

O valor económico é o fator chave que determina o nível de risco, i. e., qual o valor económico que a chapa de um veículo assegurado representa, qual o valor económico que um congestionamento representa e qual o valor económico ou investimento necessário para recuperar um elemento afetado por um deslizamento ou um ravinamento em uma vertente representa.

Assim, o maior valor económico ou os prejuízos significativos inerentes aos danos em edifícios e infraestruturas rodoviárias, determinará o nível de risco e a prioridade de intervenção governativa em um determinado elemento que, em conjunto com as vulnerabilidades detetadas e as ações de mitigação e adaptação predelineadas, envolva acidentes graves⁶⁵ suscetíveis de produzir danos, vítimas humanas e que represente períodos alongados de reposição da normalidade dentro de um determinado teatro de operações⁶⁶.

6.2.4. Mitigação

O setor dos transportes não é um componente da sociedade que necessite de uma adaptação significativa para o problema das alterações climáticas. Irónico, o antagonismo, no real papel do setor dos transportes que passa pela mitigação das emissões dos GEE para a troposfera de forma a evitar o aquecimento global. Assim, são necessárias políticas e medidas para alcançar uma mobilidade com baixas emissões, uma trajetória rumo à transição energética e à neutralidade carbónica que passa indiscutivelmente por uma descarbonização completa dos setores rodoviários e ferroviários a médio e longo prazo, melhoria da eficiência na utilização dos recursos, através de incentivos à partilha de meios

⁶⁵ Acidente grave é um acontecimento inusitado com efeitos relativamente limitados no tempo e no espaço, suscetível de atingir as pessoas e outros seres vivos, os bens ou o ambiente (art.º 3º, n.º 1, (LBPC, 2006).

⁶⁶ Um teatro de operações (TO) organiza -se em setores a que correspondem zonas geográficas ou funcionais conforme o tipo de ocorrência e as opções estratégicas consideradas. O TO é a área geográfica que compreende a zona de sinistros (ZS), a zona de apoio (ZA) e a zona de concentração de reservas (ZCR) (art.º 3º, n.º 5, 6 e 7, (SGO, 2018).

de transporte, à utilização de veículos ecológicos e produção de serviços de transporte público mais atrativos, com qualidade, conforto, rápidos, integrados e de fácil acesso, favorecendo a intermodalidade e sempre que possível, em complemento com modos ativos de transporte.

Nas projeções das variáveis macroeconómicas e demográficas para o concelho de Guimarães em relação à evolução da procura energética para um horizonte temporal de 2015 a 2050, verifica-se, na evolução da proporção do consumo dos principais vetores energéticos, em 2015, a mais consumida era a eletricidade (34 %), seguida pelo gás natural (26 %) e o gasóleo rodoviário (25 %), correspondentes a 85 % do total do consumo. O remanescente é ocupado pela gasolina e gás auto (9 %), gasóleo colorido (1,0 %), etc. As projeções apontam para uma redução no consumo do gasóleo em 2050 de -2 % (23 %), o consumo de eletricidade sofre um aumento de 3 % (37 %) e o gás natural mantém-se nos 26 %.

Nas projeções do consumo de combustíveis fósseis por setor de atividade, a indústria (38 %) e os transportes (49 %), em 2015, consumiam 87 % do total de combustíveis fósseis do concelho.

As projeções para o setor dos transportes apresentam uma estagnação no consumo de combustíveis fósseis. No ano de 2030, ano em que o objetivo de Portugal passa por uma redução dos GEE em -40 %, o setor dos transportes projeta um aumento no consumo de 1,0 % para posteriormente diminuir -2 % em 2050, concluindo com 48 % do consumo total de combustíveis fósseis, redução de -1,0 % no horizonte das projeções (CMG, 2017).

De ressaltar que em todas as projeções para o concelho de Guimarães os resultados apresentam uma ligeira diminuição no horizonte do período em análise, demonstrando que existe uma necessidade de implementar políticas concretas para atingis os objetivos de descarbonização até 2050. As medidas de mitigação terão de ser mais efetivas, nomeadamente, através de políticas de aumento dos preços dos combustíveis fósseis e substituição por fontes de energia mais seguras e sustentáveis, pela implementação de políticas de eficiência energética, sem esquecer o mercado crescente dos veículos elétricos, em substituição de veículos convencionais a gasóleo e a gasolina.

O setor dos transportes, em 2015, apresentava uma representação significativa no consumo de energia final e conseqüentemente nas emissões de CO₂ ocorridas no concelho. A procura energética representava 26 % do total de energia final consumida e 27 % do total de emissões de CO₂. No tipo de combustível fóssil final, Guimarães segue a tendência nacional com o gasóleo rodoviário a representar um consumo de 76,79 % e a gasolina 20,41 %, o remanescente é ocupado pelo gás auto (1,47 %), biodiesel (1,16 %) e a eletricidade (0,18 %).

No subsetor dos transportes públicos, no ano de 2015, o consumo de energia final da frota rodoviária (94,89 %) e ferroviária (5,11 %), foi de 8155 MWh/ano, valor a que corresponde a emissão de

2168 tCO₂/ano. Nos combustíveis utilizados, predomina o gasóleo rodoviário (90,42 %), seguido do gás auto (4,47 %) e da eletricidade (5,11 %).

O consumo de energia final no subsetor dos transportes privados, predomina o transporte individual com 75,58 % do consumo de energia, correspondente a 76,10 % do total das emissões de CO₂, seguido do transporte de mercadorias com 20,67 % (21,25 % emissões de CO₂) e o transporte coletivo com 3,75 % (2,66 % emissões de CO₂). Nos combustíveis utilizados, predomina o gasóleo rodoviário (76,64 %), seguido da gasolina (20,63 %), gás auto (1,44 %), biodiesel (1,17 %) e eletricidade (0,12 %). O subsetor dos transportes privados representa o consumo de 739.743 MWh/ano, valor a que corresponde a emissão de 191.753 tCO₂/ano (CMG, 2017).

Segundo a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), no ano de 2018, venderam-se para o concelho de Guimarães um total de 82449 Qtd (ton) de produtos derivados de petróleo. Os produtos mais vendidos correspondem ao gasóleo rodoviário (66,60 %), à gasolina (13,39 %) e ao gás auto (0,89 %) que representam 81 % do total de vendas. O setor dos transportes é o principal cliente, absorvendo a totalidade das vendas de gás auto e de gasolina e, 64,36 % do gasóleo rodoviário. Os restantes 2,24 % são destinados à engenharia civil para a construção e manutenção de edifícios e infraestruturas. As vendas para a indústria, são essencialmente, gás butano, lubrificantes e fuel.

Verifica-se nos valores do consumo de combustível automóvel por habitante, disponibilizados pelo INE, uma tendência crescente no consumo desde o ano de 2011 (0,413 tep/hab) até ao ano de 2018 (0,446 tep/hab), apesar da população ter diminuído de 158.048 habitantes em 2011 para 152.792 habitantes em 2018. Apenas regista uma ligeira diminuição do consumo no ano de 2014, ano em que a quatro de maio, Portugal deixou de estar entroikado, através de uma saída limpa anunciada pelo primeiro-ministro.

Segundo a Autoridade de Supervisão de Seguros e Fundos de Pensões (ASF), em 2018, de um total de 106.723 veículos assegurados, 93.300 são veículos ligeiros (87,42 %), 4392 são motociclos (4,12 %), 1514 são veículos pesados (1,42 %) e 3306 são ciclomotores de 50 cm³ (3,1 %), que correspondem a 96,05 % do total de veículos assegurados. Os restantes são máquinas industriais, agrícolas e atrelados.

Através dos Censos de 2011 é possível retirar alguns resultados, apesar de desatualizados, em relação às deslocações pendulares⁶⁷. Verifica-se que aproximadamente 12 % da população residente efetua deslocações pendulares para fora dos limites administrativos do concelho de Guimarães. Na população empregada ou estudante, 63,4 % efetua a mobilidade do quotidiano através de transporte

⁶⁷ A expressão deslocações (ou fluxos) pendulares refere-se aos percursos efetuados quotidianamente pelos indivíduos (estudantes ou ativos empregados) entre a sua residência e o local de exercício da respetiva atividade.

individual, enquanto apenas 18,22 % utiliza transporte coletivo. Quanto à utilização multimodal, 15,24 % da população estudante utiliza mais de um modo de transporte na mobilidade diária, enquanto apenas 9,79 % da população empregada afirma fazê-lo. A mobilidade pedonal é utilizada por aproximadamente 19 % da população estudante e empregada.



Gráfico 7 - Deslocações pendulares em 2011 e Consumo de combustível automóvel por habitante (2011-2018) e Tipo de combustível fóssil final no concelho de Guimarães (CMG, 2017 e INE, 2020).

6.2.5. Medidas e opções de adaptação

Para efetuar uma adaptação adequada às alterações climáticas projetadas para o concelho de Guimarães é necessário minimizar a impermeabilização do solo, ou quando tal for necessário, avaliar objetivamente a capacidade de drenagem e inserção da linha de água recetora, condicionar a construção na proximidade das linhas de água, a criação, regeneração e restauro de corredores verdes e promover ações de rearboreção com espécies autóctones. É necessário elaborar Planos de contingência específico para as ondas de calor e criar bases para as estruturas de sistema de alerta para as ondas de calor e radiação solar elevada (CMG, 2016).

Através da monitorização, avaliação e vigilância dos principais impactos inventariados, será possível uma adequada adaptação e resiliência da população para com as futuras realidades, contudo, a implementação de um sistema de alerta é dispendioso, na conceção como na manutenção, por isso, a presente proposta para integração dos diversos tipos de alerta necessários ao complemento das adversidades que poderão figurar no futuro, em uma infraestrutura já existente, através de uma rede de sensores que se pretende densa, cooperativa e confiável na monitorização do espaço e que beneficie os critérios multidisciplinares da totalidade da civilização.

A implementação de sensorização específica nas infraestruturas rodoviárias, para além da contagem e classificação dos veículos para realizar a gestão do tráfego, pode também servir para monitorizar as características meteorológicas do espaço envolvente e incidências nos pavimentos, contribuindo para a segurança dos utilizadores e interoperabilidade no armazenamento e tratamento de diversos tipos de dados. Neste sentido, incorporar soluções de gestão de tráfego e de monitorização ambiental em sistemas de transporte inteligentes (STI) disponíveis para a sociedade através dos inerentes princípios de implantação, alicerçados na promoção da igualdade e no acesso de todos os utilizadores a aplicações e serviços de STI. Aplicações que se pretendem em tempo real em um qualquer dispositivo fixo ou móvel e que simplifiquem o intercâmbio eletrónico entre as autoridades competentes e os prestadores de serviços de STI (Diretiva, 2010), acabando de vez com as recorrentes dificuldades de gestão e comunicação recíproca no momento em que diversas entidades ou departamentos assumem responsabilidades da sua competência e se perdem em leituras e relatórios duplicados ou em ações anacrónicas na eficiência dos resultados esperados.

Considerando os fatores chave para implementar as opções de adaptação, verifica-se que o concelho de Guimarães apresenta alguns fatores condicionantes resultado da histórica urbanização centrífuga, que resultou na deslocação da população dos aglomerados centrais para os subúrbios e periferia, beneficiando da facilidade de transporte, nomeadamente, do veículo particular e da vasta rede rodoviária, para se dispersar pela totalidade da divisão administrativa, resultando no envelhecimento do centro histórico. Os aglomerados centrais transformaram-se em polos terciários e de atração turística e, conseqüente afastamento do setor secundário, posteriormente albergado em aglomerados industriais espalhados pela periferia, levando, e apesar das condições económicas e de acessibilidade não exigirem, à relação de proximidade com áreas residenciais.

Grande parte das atividades do setor terciário encontra-se na cidade e em 2011 eram compostas por 48 % da população economicamente ativa. No entanto, os serviços de transporte coletivo aparentam não corresponder às expectativas da população para colmatar as necessidades de mobilidade do quotidiano, levando ao défice da procura e conseqüente número de rotas com taxas de ocupação reduzida. A mobilidade para o núcleo urbano é maioritariamente efetuada por veículos particulares, beneficiando da intransigência da Associação Comercial que se opõe aos condicionamento de acesso ao centro histórico, da opinião dos residentes que se queixam dos percursos e horários dos transportes coletivos e à falta de vontade popular habituada ao sedentarismo e ao conforto do veículo particular que relega iniciativas como o sistema *Park & Drive*, onde os veículos particulares ficavam estacionados

gratuitamente no campo de S. Mamede e os passageiros eram distribuídos pelo Toural em transportes coletivos, ao insucesso (CMG, 2016).

É necessário concretizar um sistema de transporte público mais atrativo e favorecer a intermodalidade para possibilitar a redução do congestionamento e alcançar uma mobilidade mais eficiente e limpa. Para garantir a sustentabilidade financeira e a equidade, o planeamento deve adequar a oferta de transporte público em áreas de baixa densidade populacional, a pessoas com mobilidade reduzida e a períodos de baixa procura com recurso a serviços com horário flexível e programa de apoio à redução tarifária.

Em paralelo com a promoção do transporte público importa incentivar outros formatos de mobilidade urbana, como os serviços de partilha, com enfoque na mobilidade elétrica e na mobilidade ativa. O turismo proporciona criação de empresas dedicadas ao *bikesharing*, contrariando as queixas dos moradores em relação ao défice de infraestruturas dedicadas, à falta de segurança na circulação e à orografia acidentada (CMG, 2016). A construção de ciclovias até às escolas e promoção da oscilação entre o passe de transportes públicos e o dos serviços de partilha para criar hábitos prematuros de usufruo de modos ativos e desenvolver novas mentalidades.

É necessário melhorar o ambiente e a paisagem e reordenar os espaços rurais numa perspetiva integrada do território, para assim promover a ligação segregada com vias ecológicas que incitem ao convívio, ao aumento da biodiversidade e promovam o desenvolvimento económico longitudinal.

As infraestruturas rodoviárias devem garantir a monitorização integrada dos fluxos de tráfego, das emissões de poluentes e das condições meteorológicas com eficiência energética e com recurso a energias renováveis. As infraestruturas devem acompanhar o crescimento do parque automóvel de VE com uma rede de carregamento de acesso público que incentive à compra e promova a micrologística urbana de *last mile*, para garantir o abastecimento de mercadorias livre de emissões e ruído.

A Figura 12 plasma as principais referências de mitigação, de adaptação e realça a importância da colaboração de todos os cidadãos para combater a problemática das alterações climáticas, um fenómeno retratado sem ciclos eleitorais ou ciclos de vida, um problema crítico de sustentabilidade que ameaça comprometer os recursos das gerações futuras.

Os critérios de mitigação privilegiam a abundância de vegetação para aumentar as fontes de sequestro de carbono e o desenvolvimento tecnológico para contribuir para a redução e futuro desaparecimento das emissões de GEE do setor da energia e dos transportes através de uma aposta forte no aumento da produção de energia primária com fontes de energia renováveis.

A adaptação trata as mentalidades e prepara a população com conhecimento adequado para adaptar o quotidiano ao dever de proteção do ambiente. Dever este que constitui uma oportunidade para a readaptação do sistema de transportes e do espaço construído contribuindo para a transformação do ecossistema urbano em locais *smart* que gerem as funções de circulação e do habitat privilegiando a qualidade de vida.

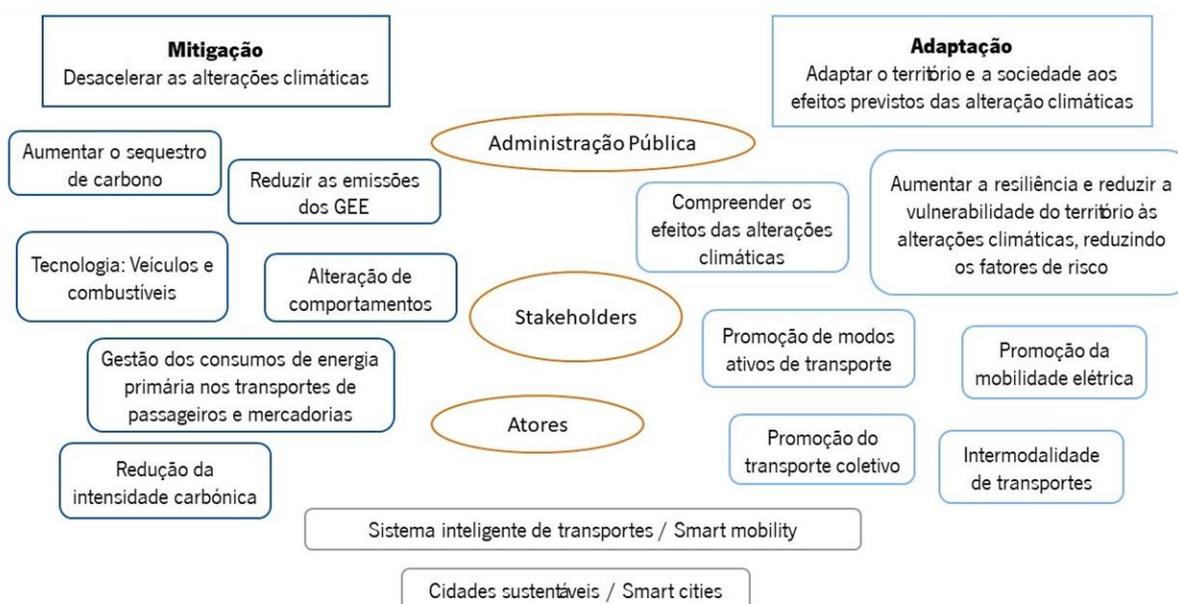


Figura 12 – A mitigação e a adaptação no setor dos transportes.

6.3. Propostas de monitorização

A monitorização é a relação interventiva em todas as etapas do planeamento, é a portadora das diretrizes para a efetivação ou alteração da estratégia planeada. Incorpora a sustentabilidade como um elemento fundamental da soberania nacional e conceito elementar intrínseco na concretização de *smart cities*, que por sua vez, complementam a eficiência energética, a qualidade de vida e a maximização da qualidade do serviço prestado ao cidadão, assim como, a redução dos gases poluentes, para salvaguardar a qualidade do ambiente urbano, a saúde pública e a inevitável mitigação das alterações climáticas.

6.3.1. Estacionamento

A tecnologia LoRaWAN, com configuração *star network* e *end-divises* autoritários, quanto ao início das comunicações, em conjunto com o sensor magnético despertado por sensor ótico, que se enquadra em topologia de *mesh network*, apresentam-se como opções válidas para a monitorização em parques de estacionamento em espaços públicos, permitindo optar por comunicações de curto alcance entre nós colaborativos ou de longo alcance para infraestruturas centrais com *gateway* suficientes para receber as comunicações de todos os estacionamentos do núcleo urbano.

A sincronização com os dados dos parquímetros possibilitaria a deteção do estacionamento ilícito e o tempo de ocupação, garantindo a cobrança pela ocupação do espaço público e eficiência nas políticas dissuasoras do veículo particular, em uma monitorização permanente e com eficiência energética.

As operações de carga e descarga das mercadorias requerem espaço adequado, que nos centros urbanos, representa um importante constrangimento. A falta de espaços suficientes ou de espaços mal dimensionados implica o recurso a estacionamento em segunda fila para a realização destas operações, que, por sua vez, provoca congestionamento e perturbações na circulação.

Habitualmente são as autoridades locais que asseguram o estacionamento para cargas e descargas, que por vezes é abusivamente utilizado para outros fins devido à falta de meios de fiscalização adequados. O estacionamento ilegal é um problema e os serviços com horários maximizados, com tempos e percursos de entregas planeados, não podem estar dependentes da atuação da autoridade local. A monitorização permanente, as deslocações da autoridade competente ao local da infração e o tempo perdido para resolver o problema, envolvem custos e a impossibilidade da atuação imediata restringe a atuação global do sistema de operações de carga e descarga de mercadorias.

Assim, é proposta a implementação de barreiras de estacionamento, que podem ser alimentadas por energia solar e acionadas por um simples controlo remoto ou através de tecnologia que permita a conectividade entre viatura de mercadorias, barreira do estacionamento, operador do serviço, central de gestão de tráfego e o cliente (Figura 13).

A tecnologia implementada para acionar a barreira poderia ser composta por sensores de *radio frequency identification* (RFID) no interior do veículo e na barreira, para permitir a leitura de proximidade e a identificação do veículo, o que exigiria a aplicação de *transponders* (tag) em todos os veículos da frota autorizada e equipar todas as barreiras com um leitor ou antena para comunicar através de sinal de rádio e identificar o tag. Esta tecnologia poderia ser integrada em *notes* ou *smart dust* para as comunicações de curto alcance através de uma rede *wireless*.

Também poderia ter como base a tecnologia Global Navigation Satellite System (GNSS), que permite a localização e identificação do veículo e posterior ativação da barreira, normalmente acionada automaticamente ou manualmente através de dispositivos de STI no veículo, portáteis ou em aplicações no *smartphone*.

Assim, é possível garantir a reserva do estacionamento e a eficiência do serviço programado de cargas e descargas entre todos os *stakeholders* numa via prioritária no cerne do tráfego regular.

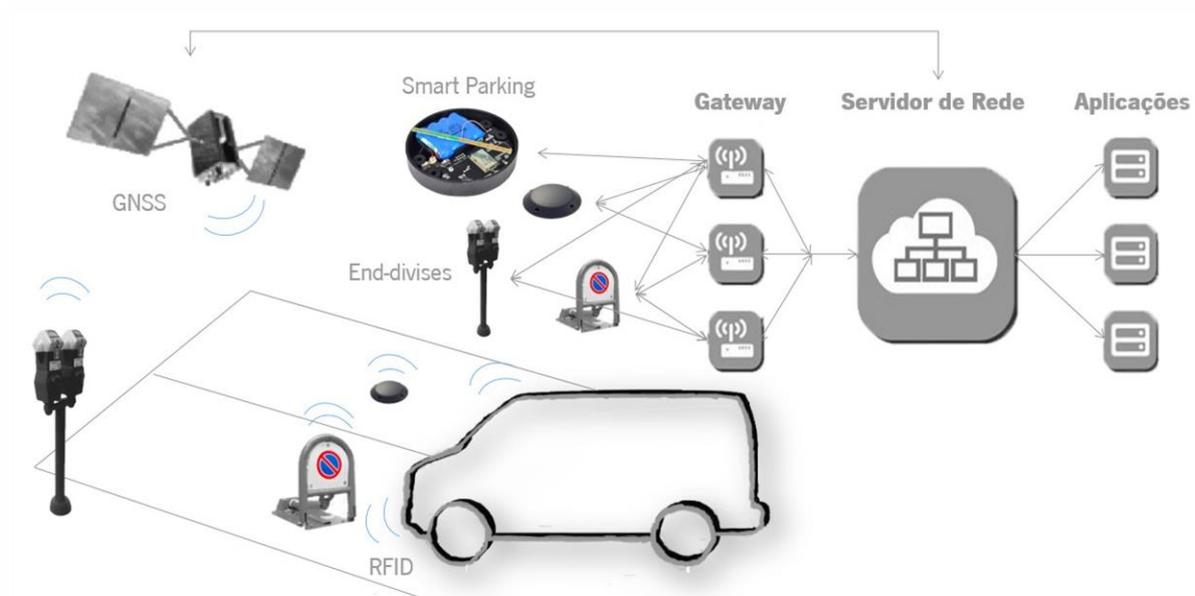


Figura 13 – Exemplo de configuração de dispositivos de controlo de estacionamento com funções integradas (Libelium, 2020, LoRa Alliance, 2015 e European GNSS Agency, 2019).

6.3.2. Parques de carregamento para bicicletas

O planeamento do sistema dos transportes altruísta reflete-se na criação de infraestruturas que concretizem o sedentarismo ecológico, através da inércia nos carregamentos, sem o prepotente cabo, para a continuidade do conforto na satisfação das necessidades dos utilizadores de veículos elétrico puro e, a atividade física, através da comodidade, com recurso à paisagem, segurança e disponibilidade de plataformas para carregamento de bicicletas elétricas (BE) para promover as deslocações de curta distância com conforto nos declives mais acentuados.

Porque a premissa estaria errada se na proposição, *smart city* e a mobilidade, repleta de inovação e tecnologia para a maximização da qualidade de vida do cidadão, consta-se uma participação assídua da combustão nas centrais termoelétricas e da carburação de combustíveis fósseis, é essencial promover a introdução de energias renováveis.

Para cidades como a de Guimarães onde a orografia acidentada repleta de declives acentuados é um dissuasor à utilização regular da bicicleta, propõe-se uma infraestrutura equipada com a tecnologia de transferência de energia *wireless* (TEW) para o carregamento de BE (Figura 6), para assim, criar condições para a utilização regular de bicicletas nos serviços logísticos de *last mile* e para as deslocções de curta distância da população.

A massificação da produção de BEs, a consequente redução do preço e a criação de infraestruturas *smart* que, com a sua mera presença, incentive a população a alterar hábitos e mentalidades, é uma incumbência de qualquer planeador para promover a utilização dos modos ativos de transporte. Utilizar a IdC ou uma aplicação STI para que, através de um simples toque numa aplicação no telemóvel possa reservar ou receber alertas de disponibilidade de determinado local de carregamento de forma a poder planear ou gerir uma determinada deslocação a um qualquer equipamento ou serviço em um dia solarengo de primavera, quase dava um slogan promocional. Trata-se de uma oportunidade que requer o desenvolvimento da tecnologia, a produção de veículos e a construção de infraestruturas em núcleos urbanos, aproveitando os recursos materiais e humanos endógenos.

Porque a economia verde⁶⁸ e a economia circular⁶⁹ são ubíquas nos critérios de sustentabilidade, é proposta a criação de um sistema com um princípio de funcionamento idêntico às *Uninterruptible power system* (UPS), com incorporação de baterias reutilizadas de VE, carregadas com energia primária transferida de painéis fotovoltaicos instalados nas imediações dos parques de carregamento de BE e de outros modos ativos de transporte, estruturados como elementos paisagísticos (Figura 6).

Independentemente do tipo de material de construção de uma bateria, todas têm um período de vida associado a um determinado ciclo de cargas. A partir de determinado momento, a autonomia diminui e a periodicidade de recargas aumenta, criando a obrigatoriedade de troca para garantir a qualidade na utilização do equipamento. A troca integra o dilema contemporâneo de encontrar soluções para a reutilização das baterias dos VE que já não têm capacidade de carga para manter consumos elevados de energia, mas ainda têm plena autonomia para equipamentos de menor potência.

⁶⁸ Economia verde é um conjunto de processos de produção e consumo (indústria, comércio, serviços, agrícola e habitação) aplicados a um determinado local (país, cidade, empresa, comunidade) que permitem uma gestão eficiente de recursos na concretização da matriz fundamental do desenvolvimento sustentável.

⁶⁹ Economia Circular é um conceito estratégico que assenta na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia. Substituindo o conceito de fim-de-vida da economia linear, por novos fluxos circulares de reutilização, restauração e renovação.

A implementação de um sistema UPS, de tipologia *online*, onde a corrente proveniente de um painel fotovoltaico alimenta um retificador (AC-DC) para efetuar o carregamento da bateria, posteriormente através de um algoritmo faz a gestão da energia interna e transfere para o inversor (DC-AC) para alimentar o equipamento de carregamento das BEs. Com este sistema podem existir falhas no abastecimento de energia que o parque permanecerá sempre ativo.

No abastecimento de energia primária, a prioridade é atribuída ao painel fotovoltaico, introduzido em um sinal vertical, em objetos decorativos, no coberto do parque ou em falta de enquadramento com a paisagem, num telhado de um edifício de proximidade. Na falta de sol e falha na produção de energia, a gestão é efetuada através de um relé⁷⁰ de tempo ou eletrónico, programado para quando o contacto normalmente fechado do painel fotovoltaico abrir, cortar a alimentação da UPS que ficaria a trabalhar exclusivamente através da bateria. Após determinado tempo ou devido a alguma vicissitude que determinasse um esgotamento prematuro da bateria, o relé acionaria os contactos normalmente abertos da energia pública para restabelecer a tensão no circuito. Quando o painel fotovoltaico voltasse a produzir corrente com potência suficiente para fornecer o circuito, o contacto normalmente fechado voltaria a acionar restabelecendo a configuração inicial do sistema.

Assim, para além de reutilizar e maximizar a vida útil as baterias dos VE para posterior entrega na reciclagem, os parques de carregamento usufruiriam de uma produção energética eficiente e autónoma. O investimento inicial certamente comportaria custos adicionais, colmatados pelos benefícios sociais, ambientais. Inicialmente, o circuito autónomo do parque de partilha produziria aproximadamente 90 % das necessidades energéticas do sistema e, com o incremento dos utilizadores, esta percentagem diminuiria periodicamente, muito provavelmente acompanhando a crescente implementação das energias renováveis no setor energético e da alteração de mentalidades para a crescente utilização de modos de transporte coletivos, partilhados e ativos nas opções de mobilidade da população.

⁷⁰ Os relés são dispositivos comutadores eletromecânicos. Nas proximidades de um eletroímã é instalada uma armadura móvel que tem por finalidade abrir ou fechar um jogo de contactos. Quando a bobina é percorrida por uma corrente elétrica é criado um campo magnético que atua sobre a armadura, atraindo-a. Nesta atração ocorre um movimento que ativa os contactos, no qual, podem ser abertos, fechados ou comutados.

6.3.2.1. Planeamento das infraestruturas de modos ativos de transporte

Para decidir a construção de infraestruturas apropriadas para o tráfego não motorizado é importante avaliar o potencial da procura existente e realizar projeções para o futuro. O processo de recolha de dados pode ser realizado através de contagem manual ou com camaras de vídeo, para verificar a interação entre veículos motorizados, não motorizados e peões.

A contagem manual agrupa critérios específicos para garantir a qualidade dos dados, como observações realizadas em períodos de pico, em dias em que todos os serviços e equipamento apresentem funções regulares, sem encerramentos ou ocasiões especiais que influenciem a procura, para assim, observar a totalidade de procura e não apenas parcial. No entanto, apesar das observações serem simples de configurar e executar, flexíveis a alterações no cronograma e introdução de novos dados em resposta às alterações verificadas na procura local, exigem muito trabalho e disponibilidade de mão de obra para efetuar os levantamentos (Bell, *et al.*, 2003).

Em alternativa, a implementação de camaras de vídeo que seguem os movimentos dos peões e ciclistas, registam os movimentos e interação com os veículos motorizados, os padrões de comportamento, e. g., a relutância de um idoso para o atravessamento de uma via rodoviária, para posterior análise de medidas a implementar, como estreitamento da via, ilhas centrais, semáforos e passadeiras.

Os sistemas implementados para a recolha e tratamento de dados pessoais total ou parcialmente automatizados para efeitos de prevenção de ameaças à segurança pública ou para proteção de pessoas e bens, devem processar-se no estrito respeito pelos direitos, liberdades e garantias das pessoas singulares, em especial pelo direito à proteção dos dados.

Os dados considerados adequados devem ser autorizados, recolhidos e tratados para finalidades de análise determinadas e deve ser garantida a segurança no período necessário para a realização das análises (Assembleia da República, 2019).

No caso da implementação de sistemas de videovigilância para proteção de pessoas e bens, as regras são diferentes, para além do sigilo sobre o conteúdo das gravações a que todos os intervenientes estão obrigados, as camaras de videovigilância têm de estar posicionadas em locais visíveis e bem identificados, o ângulo de visão não pode intercepar vias públicas, áreas limítrofes ou áreas reservadas e a conservação das imagens é obrigatória em registo codificado pelo prazo de 30 dias contados desde a respetiva captação, findo o qual são destruídas (Assembleia da República, 2013).

Para determinar as circunstâncias pelo qual a população residente opta por determinado modo de transporte e frequência de utilização é necessário efetuar pesquisas de atitude baseadas em questionários detalhados, muitas vezes direcionados a grupos-alvo específicos, como estudantes, consumidores, pessoas com mobilidade reduzida ou pessoas economicamente ativas. Para obter um bom resultado é necessário obter uma amostra imparcial da população viajante ou potencial viajante. As pesquisas de atitude permitem a obtenção de informação específica do motivo da viagem, opção por modo de transporte e preferências por destinos e rotas.

As infraestruturas para peões e ciclistas podem ser criadas em conjunto ou segregadas dependendo das características do espaço e do tráfego local, contudo, é importante salvaguardar um esquema de distâncias e de acessibilidade a parques de estacionamento, paragens de transportes públicos e serviços de proximidade para garantir a opção de consumo para todos.

6.4. Transportes públicos

Os estilos de vida, os modelos de desenvolvimento e a gestão do espaço proporcionam o aumento das distâncias e maior mobilidade para o acesso às oportunidades de emprego, consumo, educação, saúde, lazer e entretenimento e, conseqüentemente, maior procura por diversificados serviços de transporte com multiplicidade de movimentos em variadas horas do dia.

O conforto, eficiência e segurança são pressupostos para a atratividade dos transportes coletivos, concretizados através da implementação de vias prioritárias BUS, restrições para veículos particulares, sinalização prioritária acionada por sensores intrusivos de deteção da classe de veículo, preços de bilhetes atrativos, criação de interfaces, de plataformas de partilha e plataformas eletrónicas de *mobility as a service* para a gestão eficiente do espaço e promoção das viagens co-modais (multimodal e intermodal).

No concelho de Guimarães, depois da empresa Arriva ter adquirido os direitos de exploração da empresa municipal de Transportes Urbanos de Guimarães (TUG), os utentes adquiriram um desconto na utilização dos veículos coletivos das duas empresas, através de um passe com o nome de partilhado, o qual, é constituído por diferentes cartões e locais de pagamento. O mesmo acontece para rotas distinta, nomeadamente para a rota regional entre o concelho de Guimarães e de Braga, numa rota com um serviço de transporte de alta capacidade explorado pela Arriva e outras transportadoras, no qual, o passe

possibilita a utilização de todos os veículos coletivo de todas as transportadoras que exploram a rota, no entanto, os utentes que pretenderem circular nos veículos coletivos da Arriva no circuito local de Guimarães terão de pagar por outro passe, também ele com cartão diferente.

As redes ferroviárias para veículos pesados, como a existente no ramal do concelho de Guimarães, são tipicamente para realizar serviços suburbanos e interurbanos, são segregados do tráfego rodoviário e detêm estações bem espaçadas, criando a necessidade de fornecer facilidade no acesso, como estacionamento e transporte coletivo rodoviário com horários compatíveis ou *park-and-ride* (Bell, *et al.*, 2003).

Em parceria com a Comboios de Portugal (CP), também é possível um desconto para os TUG na rota, linha da cidade. Esta rota possibilita a ligação da estação ferroviária a outro ponto na cidade, que estabelecem ligação com outra rota, que detêm mais um custo e mais um cartão de passe.

A realidade da divisão administrativas do concelho de Guimarães permite uma abordagem muito simples no planeamento dos transportes públicos. Verifica-se uma cidade com elevada densidade populacional e uma periferia com baixa densidade, condição ideal para a utilização de veículo particular, uma realidade partilhada com os concelhos limitrofes.

Neste sentido, para criar uma ideia de Quadrilátero com coesão territorial, pretende-se a maximização das infraestruturas e serviços de transporte existentes com recurso à introdução da inovação tecnológica, atribuindo facilidade, conforto e fiabilidade na utilização.

Seguindo o exemplo das áreas metropolitanas do Porto onde o Andante é o título para os transportes públicos, que desde 2008, possibilita aos utentes a escolha de um determinado trajeto, em apenas um local de pagamento e um cartão, independentemente do modo de transporte a utilizar, comboio, metro e autocarro ou do número de embarques a efetuar. No Metro do Porto, é possível desde 2018, através da aplicação para *smartphone*, ANDA, ter o bilhete (andante) disponível a qualquer momento. O *smartphone* só necessita ter instalado o sistema operativo android com a versão 5.0 ou superior e equipado com Near Field Communication (NFC) e Bluetooth para a comunicação ou pagamento por proximidade. O ANDA, através de contagem de viagens efetuadas, permite a disponibilidade de tarifários personalizados e histórico de viagens, para a satisfação das necessidades individuais de consumo (Metro do Porto, 2018).

Assim, com uma simples plataforma é possível atribuir ao utente a facilidade e o conforto na escolha e utilização de qualquer transporte público dentro de uma rota conveniente para o quotidiano.

6.5. Gestão de tráfego rodoviário

No sistema de transportes normalmente as infraestruturas e os veículos pertencem a agentes económicos diferentes que cria um conjunto complexo de interações e de dificuldades de coordenação entre autoridades governamentais, *stakeholders* e o público em geral.

A introdução de STI permite a coexistência das tecnologias de análise e controlo de tráfego, que em conjunto com as diversificadas necessidades de procura e com serviços integrados, partilhados e colaborativos, como *mobility as a service* e Transmodel, promovem a completa integração dos dados recolhidos e da gestão de utentes e *stakeholders* em uma interoperabilidade entre todos os sistemas e tecnologias, sem barreiras ou vínculos tecnológicos e, uma intermodalidade eficiente e sustentável entre todos os modos de transporte, em uma parceria para reduzir o tempo de viagem, diminuir atrasos e congestionamento, melhorar a segurança e reduzir as emissões de poluentes. Os utentes beneficiam com a informação personalizada e os *stakeholders* beneficiam com a habilidade para o aperfeiçoamento da monitorização, planeamento de rotas, controlo de fluxos e acesso a informação especializada em tempo real.

O conceito de *smart city* exige uma monitorização permanente com dispositivos que permitam o armazenamento, credibilidade e disponibilidade de dados em tempo real e ubíquos, assim como, implementação e manutenção sustentável, com recurso a tecnologias emergentes digitais, que maximizam os processos de *routing* das comunicações, incorporadas em paradigmas analógicos, que desempenham a tarefa de deteção de veículos parados e em movimento e das condições ambientais envolventes, com as características sucessivamente refinadas no tamanho, precisão, desempenho e durabilidade.

6.5.1. Área de implementação

A interação e compatibilização de diferentes tecnologias de comunicação são a solução para um sistema interoperável e ubíquo. O conjunto de tecnologias anteriormente expostas permite planejar estratégias para o sistema de transportes terrestres, assimilar os princípios de implementação de uma rede de sensores *wireless* com protocolos de acesso e encaminhamento que permitem a maximização da vida útil das baterias e resiliência da rede a falhas e, conhecer as tecnologias analógicas para

sensorização de fluxos de tráfego, que dependendo do objetivo de observação e características do local, são as adequadas aos pressupostos de uma gestão eficiente e sustentável para a obtenção de uma monitorização permanente e com disponibilidade de dados em tempo real.

Os serviços STI-C, projetados para permitir as comunicações de curto alcance entre estações no veículo e na estrada, no espectro de frequência harmonizado na faixa de 5,9 GHz, permite as comunicações diretas entre V2V e V2I ou ainda, possibilita as comunicações de longo alcance V2N com recurso às redes celulares. Trata-se de um projeto europeu que se pretende relevante para a segurança da mobilidade conectada e autónoma.

A rede *ad hoc* de curto alcance necessita de sensores de estrada em redes de transporte densas para garantir as comunicações, em parte, devido as características do espectro eletromagnético não permitirem a penetração em pessoas e edifícios (saúde pública).

Para garantir as comunicações, as redes de sensores *wireless* são uma solução que permite a implementação sem a necessidade de construção de infraestruturas significativas e que apresentam um consumo de energia reduzido. Enquadra-se neste pressuposto, concretamente a tecnologia Zigbee e correspondentes configurações de rede, que compatibilizada, permitiria aos veículos mais uma opção para as comunicações de segurança de curto alcance e atribuiria aos sensores de estrada uma rede de proximidade para recolha e transporte dos dados armazenados.

Os veículos e os sensores de estrada beneficiariam das características dos nós para efetuar as comunicações, através de uma rede *wireless*, até outros veículos e infraestruturas distantes, dentro da mesma rede (nó) ou com recurso às redes externas de internet *wireless (sink)*, para assim, proceder ao tratamento e armazenamento de dados e posterior reenvio de informação confiável aos utilizadores. No entanto, o *sink* e o veículo motorizado, por deterem fontes de energia permanentes, procederiam à compatibilização da frequência de comunicação (5,9 GHz para 2,4 GHz) e garantiriam a estabilidade na coexistência de uma rede de baixo débito e outra de débito elevado (IEEE 802.15.5).

Normalmente a tecnologia é implementada de acordo com as características do equipamento e das instruções do fabricante. No presente caso, o modelo elaborado na Figura 14, com recurso ao software Cupcarbon, programado de origem com algumas características da tecnologia de comunicação das marcas Zigbee, WIFI e LoRa e que permite o teste de consumo de energia e de falha de comunicação entre nós sensor, foi introduzida a tecnologia de comunicação no padrão IEEE 802.15.4, na frequência de 2,4 GHz da marca Zigbee, que permite alcance de comunicação até 100 m. A distância é introduzida e o software não permite distâncias superior para realizar a conexões, permitindo dispor os nós no terreno com rigor técnico e sem falhas de comunicação.

A implementação representada na Figura 14 efetuada no eixo rodoviário com maior afluência de tráfego motorizado da cidade de Guimarães, proveniente da autoestrada A1/IP9, da ER206 e da Estrada Municipal que efetua ligação com a Vila de Pevidém, é também, um destino que apresenta uma crescente atratividade. Nas imediações verifica-se a presença do maior shopping do concelho de Guimarães e uma área envolvente em constante mutação com infraestruturas para a implementação de grandes lojas comerciais equipadas com parque de estacionamento particular para os clientes.

Verifica-se um planeamento que aumentou a atratividade de uma área, que no presente apresenta congestionamento regular em horas de ponta e que privilegia, ainda mais, a utilização do veículo particular, relegando os modos suaves de transporte e o transporte público para segundo plano. Contudo, o previsível aumento de tráfego foi acompanhado com a reestruturação e aumento das infraestruturas, que complementam a construção de um túnel para o acesso direto da A11/IP9 ao centro da cidade, a construção de vias de acesso local e a requalificação das vias secundárias envolventes que efetuam a ligação com as freguesias periféricas.

A implementação da sensorização nesta área permite a contagem, classificação e cálculo da densidade do tráfego, com o pressuposto de auxiliar no planeamento da reestruturação das infraestruturas, para maximizar o fluxo de tráfego, contribuir para o planeamento dos serviços de transporte coletivo e dotar os utilizadores com informação confiável para auxiliar na tomada de decisão, na simples opção de ir diretamente para a cidade pela via regular ou optar por uma via secundária para evitar um possível congestionamento.

Por ser uma área com vias que privilegiam a circulação, com reduzido tráfego não motorizado e com a presença de rotundas para garantir a fluidez do tráfego e que impossibilitam a opção de implementação de semáforos luminosos, sugere-se a implementação da tecnologia de sensores magnetómetros, que são sensores passivos, conseqüentemente, consomem menos energia que os sensores radar. São sensores que detetam as alterações produzidas por um veículo com material ferroso, são sensíveis o suficiente para detetar veículos e bicicletas, apenas os peões não podem ser detetados. Permitem a deteção da passagem e presença de veículos, a velocidade, classe do veículo, cálculo de densidade do tráfego e, quando aplicável, permitem estabelecer prioridade para bicicletas e transportes públicos em vias de acesso.

A informação deve ser disponibilizada em dispositivos de STI no veículo e em *smartphones*, para assim, os utilizadores terem acesso a informação antecipada, mas principalmente, fornecida em placares eletrónicos com indicações de direção a seguir, implementados no local para a totalidade dos utilizadores visualizar e optar pela direção a seguir.

Os sensores intrusivos preferidos para implementação, são o magnetómetro Groundhog G-8 da Nu-Metrics e o VDS240 desenvolvido pela empresa Sensys Networks. Os sensores magnetómetro implementados no pavimento, armazenam os dados e periodicamente comunicam com os nós (*end devices*) com opção de modo de sono, para assim, garantir a eficiência energética. Em seguida os nós (transceptor) transportam as comunicações até ao *sink (coordinator)*, que posteriormente comunica para uma base de dados central ou nuvem de um STI.

A disposição dos nós no terreno permite a configuração de uma estrutura lógica hierárquica agrupada em clusters, numa tipologia de *mesh network*, onde os nós são classificados com critérios de energia da bateria e o *coordinator* e o *router* são livres de comunicar com todo os nós. Nesta rede qualquer nó de origem pode comunicar com qualquer nó de destino e os *routers* e *coordinadores* estão conectados entre si. Os *end devices* com opção de sono, quando solicitados têm de cooperar com a rede e os restantes *end devices* de transporte, *routers* e *coordinadores* têm a necessidade de os recetores de radiofrequência permanecer sempre ligados para receber as solicitações de comunicação dos veículos e efetuar a monitorização da própria rede de estrada.

O *sisk* ou *gateway* responsável pelas comunicações de longo alcance, necessita de uma estrutura com ligação permanente à rede elétrica, podendo ser uma infraestrutura especialmente construída para a finalidade ou, assimilando a pretensão de incorporação na rede de sensores de estrada a monitorização meteorológica e dos gases poluentes para informar os utilizadores, contribuir para a saúde pública e para a mitigação das alterações climáticas, a estrutura poderia ser a torre QTT Road Weather Information Systems (RWIS) da Campbell Scientific ou o Smart Cities PRO da empresa Libelium, devidamente equipados com comunicação celular e *wireless local area network (WLAN)*.

O RWIS é uma estrutura metálica de grande porte que alberga diversos sensores e que pode ser implementada num local na lateral da via rodoviária e o Smart Cities PRO é um conjunto de sensores inseridos num involucro de policarbonato de pequena dimensão que, sugere-se, a implementação em postes de iluminação com opção de alimentação direta na rede elétrica ou através da opção de uma bateria externa recarregáveis.

A eficiência energética e a maximização do tempo de vida útil das baterias são o grande problema no desenvolvimento de uma rede de sensores consistente, com manutenção reduzida e uma vida útil prolongada. As baterias constituem a principal fonte de energia dos equipamentos e impedem as falhas do sistema.

Para os equipamentos que necessitam de energia permanente, é sugerido o conceito de captação de energia, através da implementação de painéis solares, independentemente da localização de implementação.

Para a implementação de transceptor ou *motes* de apoio, sugere-se a utilização das infraestruturas existentes, nomeadamente os postes de iluminação, auxiliados por uma técnica adequada de captação de energia, para garantir a eficiência energética em *coordinators* e *routers*, mas principalmente, a introdução da técnica de transferência de energia *wireless* (TEW) de *inductive coupling*, para assim, maximizar a capacidade das baterias dos *end devices* e garantir a conectividade e eficiência nas comunicações. Nos locais sem postes de iluminação, introdução da técnica *electromagnetic radiation* para captar a energia das ondas de UHF (>1 GHz).

Com o desenvolvimento dos *smart dust motes*, estas técnicas podem ser introduzidas em qualquer nó sensor sem comprometer as dimensões e o desempenho do equipamento.

Para os sensores intrusivos, propõe-se o carregamento das baterias através de veículos autónomos com dimensões suficientes para transportar as baterias e o equipamento de TEW. O veículo autónomo, devidamente sinalizado e iluminado, comunicaria para todos os utilizadores do sistema de transportes a localização e hora de supressão de via, em seguida, parava sobre o sensor e alinhava a bobina primária do veículo com a bobina secundária do sensor intrusivo e realizar a transferência de energia para as baterias recarregáveis.

A configuração da Figura 14 pode ser transposta para outra área e ligada ao mesmo *sink* através da mesma configuração de rede ou adotar outro protocolo de *routing* e outra tipologia e lógica de rede. Em centros urbanos, a configuração física, numa densa malha de conexões com diversas opções para cada nó comunicar, será o critério a seguir para garantir a tolerância em caso de falha de algum nó e garantir a segurança e fiabilidade do sistema, para assim, permitir a monitorização permanente dos principais parâmetros de fluxo de tráfego e das condições ambientais envolventes, com comunicações em tempo real, sem a necessidade de construção de infraestrutura física considerável, com manutenção reduzida e eficiência energética.



Figura 14 – Implementação de uma rede de sensores *wireless*.

7. CONCLUSÃO

O conceito de *smart city* sugere a utilização das tecnologias de informação e comunicação para monitorizar permanentemente e integrar as funções da cidade (produção, habitat, cultura do corpo e do espírito, circulação) na otimização dos recursos sempre escassos, na maximização do nível de serviço disponibilizado aos utilizadores e na promoção da competitividade económica, da sustentabilidade ambiental e da qualidade de vida.

As infraestruturas do sistema de transportes assumem um papel fundamental no desenvolvimento económico e na coesão territorial e os veículos motorizados são os atores principais na garantia de mitigação das alterações climáticas e da qualidade do ambiente urbano.

O conhecimento completo das dinâmicas do sistema de transportes permite encontrar soluções estratégicas que garantam o futuro autónomo, elétrico e partilhado da mobilidade, a intermodalidade eficiente entre todos os modos de transporte e a concretização do planeamento e da gestão de áreas territoriais para a implementação de serviços de transporte de alta capacidade que maximizem o nível de serviço prestado à população.

Este processo envolve a recolha massiva de dados individuais e coletivos, públicos e privados através de redes de conectividade densas que concretizam um sistema interoperável e ubíquo e que possibilitam a personalização de serviços adaptados às características individuais de cada utilizador.

A monitorização das viagens com incidência na heterogeneidade social não depende somente da implementação de sensores na estrada ou no interior do veículo para a avaliação e previsão de fluxos de tráfego. São necessárias estratégias refinadas para os estudos comportamentais, assimilando-se a importância da recolha massiva de dados, em especial ao consumo, da constante interação com as redes digitais, dos serviços personalizados para o sujeito, das comunicações entre objetos e proprietários e das pesquisas de atitude com recurso à participação do cidadão e às referências do passado.

O conhecimento dos fluxos de tráfego é uma evidência prévia a qualquer ação de urbanismo, nas obras de requalificação, na definição de espaços públicos e nas opções de modo de transporte das novas urbanizações. A gestão do espaço afigura-se como fundamental e deve privilegiar a acessibilidade e a multimodalidade dos transportes, apoiada na proximidade de origens e destinos para assegurar a redução da utilização de veículos particulares motorizados.

O sistema de transportes é o ator principal no flagelo das alterações climáticas e o portador de desafios e oportunidades relacionadas com a mitigação dos gases de efeito estufa provenientes da combustão de energia primária de origem fóssil.

Os desafios envolvem a alteração dos hábitos de mobilidade, recorrendo à introdução de modos ativos de transportes para os serviços logísticos de *last mile* e para as deslocações de curta distância da população, para assim, contribuir para a melhoria da qualidade do ar, da saúde pública e garantir a eficiência na gestão do espaço que se pretende com alta densidade populacional para contribuir para a criação de serviços de transporte de alta capacidade e auxiliar no desenvolvimento económico local da generalidade dos agentes económicos.

A adaptação às alterações climáticas concretiza uma oportunidade no desenvolvimento de sistemas tecnológicos inteligentes de deteção e informação de eventos climáticos adversos, acautelando comportamentos, minimizando danos físicos, como acidentes rodoviários e danos económicos, como congestionamento que provoca atrasos, stress, ruído e poluição atmosférica.

Resolver os constrangimentos ao fluxo livre do tráfego rodoviário exige uma alteração de comportamentos coletivos e individuais e soluções técnicas, traduzidas na redução da necessidade de realizar viagens, evitar as horas de ponta, implementação de sistemas de transporte inteligentes para disponibilização de informação específica de localização de incidentes nas vias, sensores de estrada para disponibilidade permanente de dados de fluxos de tráfego, sinalização inteligente para gerir o tráfego de entrada nas principais vias, assim como, planos territoriais que concretizem as acessibilidades e promovam os serviços de proximidade, a criação de infraestruturas para o tráfego não motorizado, os transportes coletivos e a cultura de partilha para maximizar a ocupação do espaço público.

A criação de uma rede *wireless* ubíqua com recurso a sensores de estrada implementados na superfície do pavimento, ou sobre o pavimento, ou na lateral das vias rodoviárias, com a colaboração da sensorização do interior do veículo que utilizam as redes para as comunicações de longa distância e de transceptor ou motes de apoio que garantem a conectividade da rede, permite a monitorização permanente dos principais parâmetros de fluxo de tráfego e das condições ambientais envolventes, com comunicações em tempo real, sem a necessidade de produção de infraestrutura física considerável, com manutenção reduzida e eficiência energética.

Dos diversos sensores de tráfego apresentados, os preferidos para implementação em *smart cities* são os sensores radar de micro-ondas, por permitirem a deteção da totalidade do tráfego motorizado e não motorizado, onde estão incluídos os peões e, permitir a deteções de todos os parâmetros de fluxo de tráfego, mediante a programação adequada da frequência para cada tipo de objeto, como os veículos parados e em movimento, o volume, a velocidade, a classificação e o cálculo da densidade do tráfego.

Os sensores magnetómetro também permitem a deteções de todos os parâmetros de fluxo de tráfego e beneficiam de serem sensores passivos com consumo de energia reduzido. Como não permitem a deteção de peões, são a opção para vias que privilegiam a circulação e para a deteção de ocupação em parques de estacionamento. Os sensores radar de micro-ondas e magnetómetros são resilientes a eventos climáticos e a manutenção é reduzida.

Os protocolos de *routing* apresentados permitem perceber a lógica dos algoritmos de encaminhamento das comunicações e a dificuldade em criar RSW eficientes e sustentáveis que evitem a falha prematura dos nós.

A tecnologia Zigbee, utilizada para criar a RSW na cidade de Guimarães, apresenta tipologias de rede e critérios energéticos que garantem a eficiência da rede por aproximadamente 10 anos e comunica na frequência de 2,4 GHz, garantindo a compatibilidade de comunicações com os sensores magnetómetros implementados no pavimento. Constitui uma opção no mercado que possibilita a harmonização de todos os equipamentos implementados e a criação de uma rede densa para satisfazer os objetivos de deteção do fluxo de tráfego e das características ambientais envolventes. Como a comunicação nas redes *ad hoc* de curto alcance entre veículos evolui na frequência de 5,9 GHz, considerando as características do espectro de radiofrequência, é previsível que os veículos procederão à conversão da frequência quando solicitar comunicações na rede de estrada.

A evolução dos *microelectromechanical systems* (MEMS) permite um futuro onde a imaginação é o limite na produção de sensores que permitam a criação de redes sustentáveis para a monitorização em *smart cities*. São diversas as técnicas de captação, conservação e transferência de energia que permitem

o aumento da vida útil das baterias e que podem ser testadas e introduzidas em RSW. A tecnologia existente permite a integração de diversos tipos de sensores nos motes de comunicação, com consequências no aumento significativo do consumo de energia do nó, transparecendo a necessidade de um investimento em investigação para melhorar a eficiência energética, aumento da vida útil das baterias e possibilitar a produção em massa de dispositivos de baixo custo, com dimensões reduzidas e que concretizem a totalidade dos objetivos de monitorização.

Pretende-se a compatibilização e maximização da vida útil dos dispositivos, para a comunicação recíproca e integrada e disponibilidade massiva de dados em centrais inteligentes preparadas para o armazenamento e processamento de dados e, disponibilidade de informação personalizada e credível para satisfazer as necessidades de um sistema de transportes que se pretende conectado, autónomo, elétrico e *wireless* e para a maximização da qualidade de vida do cidadão em um habitat urbano em constante mutação.

BIBLIOGRAFIA

- ACEA (2018). *Position Paper: Frequency bands for V2X*. Brussels: European Automobile Manufacturers Association (ACEA).
- Adarsha, B. M., Prakash, S., Naik, V. G., & Reddy, K. V. (2017). *Wireless Power Transfer for Wireless Sensor Networks using Hybrid algorithm*. USA: IEEE.
- ADENE, ACAP, IMT (2019). Guia de Economia de Combustíveis. *Agência para a energia, Associação Automóvel de Portugal, Instituto de Mobilidade e Transportes*. Lisboa: IMT.
- AGD (2 de junho de 2020). *agd-systems*. Obtido de Product, 326 Pedestrian Radar: https://www.agd-systems.com/agd_product/326-pedestrian-radar/
- Alcoforado, M. J., Andrade, H., & Oliveira, S. (2009). *Alterações climáticas e desenvolvimento urbano* (Vols. Política de Cidades - 4). Lisboa: Direção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano (DGOTDU).
- Almeida, M., Frade, P., & Pimentel, C. (2010). *Plano de Melhoria da Qualidade do Ar na Região Centro*. Coimbra: Comissão de Coordenação e desenvolvimento Regional do centro (CCDRC).
- ANACON (15 de abril de 2020). *Sobre o 5G*. Obtido de portal5g: <https://portal5g.pt/5g/>
- Antunes, C. (19 de fevereiro de 2020). *Já devíamos ter planos. Subida do mar vai afetar cerca de 150 mil portugueses*. Obtido de rtp: https://www.rtp.pt/noticias/pais/ja-deviamos-ter-planos-subida-do-mar-vai-afetar-cerca-de-150-mil-portugueses_es1205839
- APA (2012). Roteiro Nacional de Baixo Carbono. *Opções de transição para uma economia de baixo carbono competitiva em 2050*. Amadora: Agência portuguesa do ambiente (APA).
- APA (2017). *7th National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Amadora: Portuguese Environment Agency (APA).
- APA (2019). *Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030)*. Amadora: Agência Portuguesa do Ambiente (APA).
- APA (2019). *4th Biennial Report to the United Nations Framework Convention for Climate change*. Amadora: Portuguese Environment Agency (APA).
- APA (2019). *Portuguese National Inventory Report on Greenhouses Gases, 1990-2017: Submitted Under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol*. madora: Agência Portuguesa do Ambiente (APA).
- APA (2019). *Roadmap for Carbon neutrality 2050 (RNC2050) - Long term strategy for carbon neutrality of the Portuguese economy by 2050*. Amadora: Ambiente e Transição Energética, Agência Portuguesa do Ambiente.
- Aragão, A. (2017). Indicadores de Desenvolvimento Sustentável, instrumentos estratégicos e inovadores para municípios sustentáveis | O caso de Estarreja. *Da mera proclamação da sustentabilidade ao dever legal de monitorização do desenvolvimento sustentável através de matrizes de*

- indicadores* (pp. 85-116). Aveiro: Instituto Jurídico da Faculdade de Direito da Universidade de Coimbra.
- Assembleia da República (2013). Regime a que deve obedecer a implementação e utilização de sistemas de transportes inteligentes, Lei n.º 32/2013 de 10 de maio. *Diário da República, 1.ª série - N.º 90*, 2800-2805.
- Assembleia da República (16 de maio de 2013). Regime do exercício da atividade de segurança privada, Lei n.º 34/2013. *Diário da República, 1.ª série - n.º 94*, 2921-2942.
- Assembleia da República (8 de agosto de 2019). Proteção das pessoas singulares no que diz respeito ao tratamento de dados pessoais e à livre circulação desses dados, Lei n.º 58/2019. *Diário da República, 1.ª Série n.º 151*, 3-40.
- Bache, I., Bartle, I., Flinders, M., & Marsden, G. (2015). *Multi-Level Governance and Climate Change, insights from transport policy*. Londres: Rowman & Littlefield International.
- Barata, P. M., Pinto, B. V., Sousa, R., Conraria, L. A., & Alexandre, F. (2018). Plano neutralidade carbónica 2050. *Cenários Socioeconómicos de Evolução do País no Horizonte 2050*. Escola de Economia e Gestão, Uminho: APA, Agência Portuguesa do Ambiente.
- Bell, M., Bonsall, P., Leake, G., May, A., Nash, C., & O'Flaherty, C. (2003). *Transport Planning and Traffic Engineering*. England: Elsevier.
- Blanes, N., Domingues, F., Ramos, M. J., Maza, M. S., & Esteve, J. (2019). *Noise Action Plans, Managing exposure to noise in Europe*. Norway: European Topic Centre on Air pollution, transport, noise and industrial pollution.
- Bosch (20 de maio de 2020). *Mouser Electronics*. Obtido de BME280 Humidity and Pressure Sensor - Bosch: https://pt.mouser.com/datasheet/2/621/BST-BME280_DS001-09-521021.pdf
- Botelho, I. d., Silva, A. C., Gaião, S., Roxo, M., & Velasco, R. (2019). *Logística Urbana - Guião Orientador*. Lisboa: Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P. (IMT, I.P.).
- Cabani, A., & Mouzna, J. (2013). ZBR-M: A New Zigbee routing Protocol. (pp. 15-32). France: International Journal of Computer Science and Applications.
- Cândido, j. (abril de 2005). *Crónica de uma Linha Amputada ou elegia à destruição do nosso património*. Obtido de ocomboio.
- Carris (2019). *Condições Gerais de Transporte dos Serviços da Carris*. Lisboa: Carris.
- Carris (31 de janeiro de 2020). *História*. Obtido de A Carris: <https://www.carris.pt/a-carris/historia/>
- Chen, W., Chen, L., Chen, Z., & Tu, S. (2006). First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences. *A Wireless Sensor Network for Intelligent Transportation System* (p. 7). China: IEEE.
- CMG (2016). Estratégia Municipal de Adaptação as Alterações Climáticas. *ClimAdaPT.Local*. Guimarães: Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

- CMG (2017). *Matriz Energética da Sustentabilidade Climática*. Guimarães: Câmara Municipal de Guimarães (CMG).
- CMG (2017). *Matriz energética prospetiva*. Guimarães: Câmara Municipal de Guimarães (CMG).
- Comissão Europeia (2011). Livro Branco. *Roteiro do espaço único europeu dos transportes - Rumo a um sistema de transportes competitivo e económico em recursos*. Bruxelas.
- Corti, A., Manzoni, V., Savaresi, S. M., Santucci, M. D., & Tanna, O. D. (2012). Advanced Microsystems for Automotive Application 2012 - Smart systems for safe, sustainable and networked vehicles. *A Centralized Real-Time Drive Assistance System for Road safety Based on Smartphone* (pp. 221-230). Germany: Springer.
- CP (1 de junho de 2020). *Cultura Ferroviária*. Obtido de Comboios de Portugal (CP): <https://www.cp.pt/institucional/pt/cultura-ferroviaria>
- CPA (2015). Código do Procedimento Administrativo (CPA), Decreto-Lei n.º 4/2015 de 7 de janeiro. *Diário da República, 1ª série - N.º 4*, pp. 50-87.
- CRP (2005). Lei Constitucional (CRP) n.º 1/2005 de 12 de agosto, Sétima revisão constitucional. *Diário da República, 1ª Série-A n.º 155*, pp.4642-4485.
- Darwin, C. (1859). *A Origem das Espécies - no meio da seleção natural ou a luta pela existência na natureza* (2003 ed., Vol. n.º 1). (J. M. Paul, Trad.) Porto: LELLO & Irmão - Editores.
- DCLIMA (2019). Departamento de Alterações Climáticas. *Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (Estimativas de emissões 2017)*. Lisboa: Agência Portuguesa do Ambiente (APA).
- Decisão (UE) (2017). Decisão (UE) 2017/899 do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de maio de 2017. *Relativa à utilização da faixa de frequências de 470-790 MHz na União* (pp. 131-137). Jornal Oficial da União Europeia.
- Decisão de Execução (UE) (2018). Decisão de Execução (UE) 2018/637 da Comissão de 20 de abril de 2018. *harmonização das faixas de frequências dos 900 MHz e 1 800 MHz para sistemas terrestres capazes de fornecer serviços pan-europeus de comunicações eletrónicas na Comunidade, no que diz respeito às condições técnicas relevantes para a Internet das coisas* (pp. 27-30). Jornal Oficial da União Europeia.
- Decisão de Execução (UE) (2020). Decisão de Execução (UE) 2020/1426 da Comissão de 7 de outubro de 2020. *Relativa à utilização harmonizada do espectro de radiofrequências na faixa de frequências de 5 875-5 935 MHz para aplicações relacionadas com a segurança no domínio dos sistemas inteligentes utilizados nos transportes (SIT)* (pp. 19-23). Jornal Oficial da União Europeia.
- DG (2012). EasyWay Deployment Guidelines (DG). *Traveller Information Services Co-Modal traveller Information* (p. 61). easywat-its.
- DGEG, & ADENE (2019). *Energia em Números - Edição 2019*. Lisboa: Agência para a Energia (ADENE).
- Diário da República (17 de julho de 1998). Decreto-Lei n.º 222/98. *Plano rodoviário nacional, I Série-A - n.º 163*, pp. 3444-3454.

- Diário da República (14 de dezembro de 2006). Decreto-Lei n° 237/2006. *Regime jurídico da compatibilidade electromagnética dos automóveis, 1ª série - n° 239*, pp. 8358-8380.
- Diário da República (1 de Abril de 2010). Resolução do Conselho de Ministros n° 24/2010. *Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas, 1ª série, n° 64*, pp. 1090-1106.
- Diário da República (14 de abril de 2014). Lei n° 19/2014. *Bases da política de ambiente, 1ª série - n° 73*, pp. 2400-2404.
- Diário do Governo (19 de agosto de 1961). Lei n° 2110. *Regulamento Geral das Estradas e Caminhos Municipais, I Série - n° 192*, pp. 1029-1044.
- Diretiva (2010). Diretiva 2010/40/UE de 7 de Julho de 2010 do Parlamento Europeu e do Conselho. *Implantação de sistemas de transporte inteligentes no transporte rodoviário, inclusive nas interfaces com outros modos de transporte* (pp. 1-13). Jornal Oficial da União Europeia.
- Diretiva 2014/94/UE. (2014). Diretiva 2014/94/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 22 de outubro de 2014. *Criação de uma infraestrutura para combustíveis alternativos*. Bruxelas: Jornal Oficial da União Europeia.
- ECF & WCA (2020). *Cycling Delivers on the Global Goal, Shifting towards a better economy, society, and planet for all*. Belgium: European Ciclists Federation (ECF), World Cycling Alliance (WCA).
- Eco Counter (5 de março de 2020). *eco-counter*. Obtido de Multi Range, Urban MULTI: <https://www.eco-counter.com/produits/multi-range/urban-multi/>
- EEA (2019). *Adaptation challenges and opportunities for the European energy system - Building a climate-resilient low-carbon energy system*. Luxembourg: European Environment Agency (EEA).
- EEA (2019). *Air quality in Europe - 2019 report*. Luxembourg: European Environment Agency (EEA).
- EEA (2020). *Transport: increasing oil consumption and greenhouse gas emissions hamper EU progress towards environment and climate objectives*. Luxembourg: European Environment Agency (EEA).
- EGNSSA (30 de janeiro de 2020). *What is GNSS?* Obtido de European Global Navigation Satellite Systems Agency (EGNSSA): <https://www.gsa.europa.eu/>
- Engmann, F., Katsriku, F. A., Abdulai, J.-D., Adu-Manu, K. S., & Banaseka, F. K. (2018). Wireless Communications and Mobile Computing. *Prolonging the Lifetime of Wireless Sensor Networks: A Review of Current Techniques* (pp. 1-23). United Kingdom: Hindawi.
- Enterprise Flasher Company (18 de julho de 2020). *Enterprise Flasher Company*. Obtido de Intelligent Highway Systems from Quixote: <http://www.enterpriseflasher.com/prod-intelligent-intellizone-advance.php>
- Escolara, S., Villanueva, F. J., Santofimia, M. J., Villa, D., del Toro, X., & López, J. C. (2019). Technological Forecasting & Social Change. *A Multiple-Attribute Decision Making-based approach for smart city rankings design* (pp. 42–55). Science Direct.
- ETSI (2017). *Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 4: Geographical addressing and forwarding for point-to-point and point-to-multipoint*

- communications* (Vols. ETSI EN 302 636-4-1). France: European Telecommunications Standards Institute (ETSI).
- European Commission (2016). *A European Strategy for low-emission mobility*. Brussels: European Commission.
- European GNSS Agency (2019). *GNSS Market Report, Issue 6*. Luxembourg: European Union.
- Ferreira, A. F. (2005). *Gestão Estratégica de Cidades e Regiões*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- FHWA (2016). *Traffic Monitoring Guide*. New Jersey: The Federal Highway Administration (FHWA).
- GHOST (8 de novembro de 2020). *Galileo Enhancement as Booster of the Smart Cities: the GHOST project results*. Obtido de gsa.europa: <https://www.gsa.europa.eu/galileo-enhancement-booster-smart-cities>
- Gilbert, A., Barrett, J., Qualcomm, & EID Europe (2012). Advanced Microsystems for Automotive Application 2012 - Smart systems for safe, sustainable and networked vehicles. *Wireless Charging: The Future of Electric Vehicles* (pp. 49-56). Germany: Springer.
- GTT (1 de Dezembro de 2020). *Global Traffic Technologies (GTT)*. Obtido de Uploads: <https://www.gtt.com/wp-content/uploads/702-Non-invasive-Microloop-Sensors.pdf>
- Hilmani, A., Maizate, A., & Hassouni, L. (2018). Wireless Sensor and Actuator Networks for Smart Cities. *Designing and Managing a Smart Parking System Using Wireless Sensor Networks* (pp. 25-44). Switzerland: MDPI.
- ICNIRP (2004). *ICNIRP Guidelines, On Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths Between 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation)*. Germany: International Commission on non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP).
- ICNIRP (2010). *ICNIRP Guidelines, For Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 HZ-100 KHZ)*. Germany: International commission on non-ionizing radiation protection (ICNIRP).
- ICNIRP (5 de abril de 2020). *ICNIRP Guidelines, For Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 KHZ to 300 GHZ)*. Germany: International commission on non-ionizing radiation protection (ICNIRP). Obtido de Frequencies: <https://www.icnirp.org/en/frequencies/index.html>
- IMTT (2011). *Rede Viária – Princípios de planeamento e desenho*. Lisboa: Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres (IMTT).
- Indra (2018). *Indra Transportation Trends Report*. Espanha: Indra.
- INE (2010-2018). Estatísticas do parque de veículos rodoviários. *Veículos rodoviários motorizados (N.º por Tipo de veículo e Tipo de combustível; Anual. Base de Dados*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística (INE).
- INE (2017). Destaque - informação à comunicação social. *Projeções de População Residente 2015-2080*, pp. 19.
- INE (5 de abril de 2020). *Base de Dados*. Obtido de Instituto Nacional de Estatística (INE): https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_bdc_tree&contexto=bd&selTab=tab2

- Infraestruturas de Portugal (2018). *Relatório e Contas*. Pragal: Infraestruturas de Portugal, S.A.
- IPCC (2012). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United States of America: Cambridge University Press.
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx*. United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (2014). Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas. *Alterações Climáticas 2014, Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade - Resumo para Decisores*. Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea e L.L. White, p. 34. Genebra: Organização Meteorológica Mundial (WMO).
- Jamalipour, A., & Azim, M. A. (2010). Encyclopedia on ad hoc and ubiquitous computing, teory and design of wireless ad hoc, sensor, and mesh networks. *Wireless Sensor Networks - Routing Protocols* (pp. 219-255). Australia: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- João, P. (2007). Mobilidade geográfica e distância da deslocação em Portugal. *Notas Económicas*, pp. 42-58.
- Klein, L. A., Mills, M. K., & Gibson, D. R. (2006). *Traffic Detector Handbook* (3^a ed., Vol. 1). New Jersey: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA).
- Kurs, A., Karalis, A., Moffatt, R., Joannopoulos, J. D., Fisher, P., & Soljac, M. (2007). *Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances*. Washington: Sciencemag.
- Lajnef, N., Chatti, K., Chakrabartty, S., Rhimi, M., & Sarkar, P. (2013). *Smart Pavement Monitoring System*. New Jersey: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- LBA (14 de abril de 2014). Define as bases da política de ambiente (LBA), Lei n° 19/2014. *Diário da República, 1ª série - N° 73*, pp. 2400-2404.
- LBPC (2006). Lei de Bases da Protecção Civil (LBPC), Lei n° 27/2006 de 3 de Julho. *Diário da República, 1ª Série, N° 126*, 4696-4706.
- LBSTT (17 de março de 1990). Lei n° 10/90, Lei de Bases do Sistema de Transportes Terrestres (LBSTT). *Diário da República, 1ª série - n° 64*, pp.1306 - 1314.
- Libelium (1 de junho de 2020). *Development libelium*. Obtido de Gases PRO Sensor Guide: https://development.libelium.com/gases_pro_sensor_guide/
- Libelium (30 de janeiro de 2020). *Libelium*. Obtido de IOL Products, Smart Parking: <https://www.libelium.com/iot-products/smart-parking/>

- Liñán, A., Vives, A., Bagula, A., Zennaro, M., & Pietrosemoli, E. (2016). *Internet of Things In 5 Days*. <https://github.com/marcozennaro/IPv6-WSN-book>.
- Livro Verde (1996). *Futura Política de Ruido, Livro Verde da Comissão Europeia*. Bruxelas: Comissão das Comunidades Europeias.
- Lopes, M., Ferreira, J., Pimentel, C., & Borrego, C. (2017). Indicadores de Desenvolvimento Sustentável, instrumentos estratégicos e inovadores para municípios sustentáveis | O caso de Estarreja. *Qualidade do ar, exposição e saúde, como indicadores de desenvolvimento e qualidade de vida nas cidades* (pp. 271-312). Aveiro: Instituto Jurídico da Faculdade de Direito da Universidade de Coimbra.
- LoRa Alliance (2015). LoRaWAN What is it? *A technical overview of LoRa and LoRaWAN* (pp. 1-20). Califórnia: LoRa Alliance.
- Marx, K. (1859). *Uma Contribuição para a Crítica da Economia Política*. Livro de Domínio Público.
- Metro do Porto (2017). *Relatório de Sustentabilidade*. Porto: Metro do Porto.
- Metro do Porto (2018). *Relatório de Sustentabilidade*. Porto: Metro do Porto.
- Metropolitano de Lisboa (2016). *Relatório de Sustentabilidade*. Lisboa: Metropolitano de Lisboa .
- Moura, F. P. (1952). Boletim de Ciência Económicas. *Influência dos custos de transporte na localização das indústrias* (pp. 213-238). Coimbra: Faculdade de Direito da Universidade de Coimbra.
- MOVE - DG Mobility and Transport (2016). Platform for the Deployment of Cooperative Intelligent Transport Systems in the EU (E03188). *Final report*, (p. 140). Bruxelas.
- Nourillean, S. W. (2012). A Study of ZigBee Network Topologies for Wireless Sensor Network with One Coordinator and Multiple Coordinators. (pp. 65-81). Tikrit Journal of Engineering Sciences.
- Ortúzar, J. d., & Willumsen, L. G. (2001). *Modelling Transport* (3^a ed.). England: Wiley.
- Patil, D., Mcdonough, M., Miller, J., Fahimi, B., & Balsara, P. (2018). Transition on Transportation Electrification. *Wireless Power Transfer for Vehicular Applications: Overview and Challenges. Vol. 4 n° 1*. Estados Unidos da América: IEEE.
- PDM (22 de junho de 2015). Aviso n° 6936/2015, Revisão do Plano Diretor Municipal de Guimarães (PDM). *Diário da República, 2ª série - N° 119*, pp. 16682-16706.
- Pelletier, J., & Delfante, C. (2000). *Cidades e Urbanismo no Mundo*. Lisboa: Instituto Piaget.
- PETI3+ (2015). *PETI3+: Plano Estratégico dos Transportes e Infraestruturas - Horizonte 2014-2020*. Lisboa: Ministério da Economia.
- Pires, S. M. (2017). Indicadores de Desenvolvimento Sustentável, instrumentos estratégicos e inovadores para municípios sustentáveis | O caso de Estarreja. *Indicadores locais de desenvolvimento sustentável: tão importantes quanto negligenciados* (pp. 49-84). Aveiro: Instituto Jurídico da Faculdade de Direito da Universidade de Coimbra.
- PNPOT (5 de setembro de 2019). Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT) Lei n° 99/2019, Primeira Revisão. *Diário da República, 1ª série - n° 170*, pp.3-267.

- Powercast (25 de setembro de 2020). *Powercaster Transmitter*. Obtido de powercastco: <https://www.powercastco.com/products/powercaster-transmitter/>
- PRN (17 de julho de 1998). Decreto-Lei n° 222/98 de 17 de julho, Plano rodoviário nacional (PRN). *Diário da República, I Série-A n° 163*, pp. 3444-3454.
- Qualcomm (18 de maio de 2017). *Qualcomm*. Obtido de From wireless to dynamic electric vehicle charging: The evolution of Qualcomm Halo: <https://www.qualcomm.com/news/onq/2017/05/18/wireless-dynamic-ev-charging-evolution-qualcomm-halo>
- Regulamento Delegado (UE) (13 de março de 2019). Regulamento Delegado da Comissão de 13/03/2019. *que complementa a Diretiva 2010/40/UE do Parlamento Europeu e do Conselho no que diz respeito à implantação e à utilização operacional de sistemas cooperativos de transporte inteligentes* (p. 35). Bruxelas: Comissão Europeia.
- RGR (2007). Regulamento Geral do Ruído, Decreto-Lei n° 9/2007 de 17 de Janeiro. *Diário da República, 1ª série - N° 12*, pp. 389-398.
- RJIGT (2015). Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial (RJIGT), Decreto-Lei n° 80/2015 de 14 de maio. *Diário da República, 1ª Série n° 93*, 2469-2512.
- Saeed, W., Shoaib, N., Cheema, H. M., & Khan, M. U. (2018). *RF Energy Harvesting for Ubiquitous, Zero Power Wireless Sensors*. United kingdom: Hindawi.
- Seabra, M. I., Pinheiro, A. S., Marcelino, C. T., Costa, M., & Bento, S. P. (2012). *Ciclando, Plano de Promoção da Bicicleta e outros Modos Suaves 2013-2020*. Lisboa: Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P. (IMT).
- Seco, A. J., Antunes, A. J., Costa, A. H., & Silva, A. M. (2008). Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes. *Princípios Básicos de Organização de Redes Viárias*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte (CCDRN).
- Sensys Networks (12 de maio de 2020). *Sensys Networks*. Obtido de Flexmag: <https://sensysnetworks.com/products/flexmag>
- Sensys Networks (20 de junho de 2020). *Sensysnetworks*. Obtido de Resources, Microradar: <https://www.sensysnetworks.com/resources#microradar>
- SGO (2018). Revisão do Sistema de Gestão de Operações (SGO), Despacho n.º 3317-A/2018. *Diário da República, 2ª série, N° 65*, 9530 (2)-9530(10).
- Sifuentes, E., Casas, O., & Pallas-Areny, R. (2011). *Wireless Magnetic Sensor Node for Vehicle Detection With Optical Wake-Up* (Vols. 11, n° 8). IEEE Sensors Journal.
- Solaris (20 de janeiro de 2020). *Electric road project in Sweden, Solaris to supply the test vehicle*. Obtido de Sustainable-bus: <https://www.sustainable-bus.com/news/electric-road-project-in-sweden-solaris-to-supply-the-test-vehicle/>
- Tagmaster (12 de fevereiro de 2020). *fr.tagmaster*. Obtido de Produits, Wisecow SMP: <https://fr.tagmaster.com/produits/2>

- Transmodel (20 de agosto de 2020). *Transmodel at a glance*. Obtido de [transmodel-cen.eu](http://www.transmodel-cen.eu/downloads/): <http://www.transmodel-cen.eu/downloads/>
- UN (2019). Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. New York: United Nations.
- UN (2019). United Nations Environment Programme. *Emissions Gap Report 2019*. Nairobi: UNEP.
- Valadas, B., & Leite, M. J. (2004). *O Ruído e a Cidade*. Lisboa: Instituto do Ambiente.
- Vale, D. (2010). XII Colóquio Ibérico de Geografia . *Forma urbana sustentável ou cidade acessível multimodal? A aplicação do conceito de disparidade de acessibilidade na AML*. Porto: Faculdade de Letras (Universidade do Porto).
- Velisavljevic, V., Cano, E., Dyo, V., & Allen, B. (2016). Wireless Magnetic Sensor Network for Road Traffic Monitoring and Vehicle Classification. *Transport and Telecommunication*, v. 17, n° 4, pp. 274–288.
- Verde, J., & Zêzere, J. L. (2007). Avaliação da Perigosidade de Incêndio Florestal. *VI Congresso da Geografia Portuguesa*, (p. 23). Lisboa.
- Volocopte (25 de janeiro de 2020). *Volocopter*. Obtido de White Paper: <https://www.volocopter.com/>
- Watson, R. T., Zinyowera, M. C., & Moss, R. H. (1996). *Tecnologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change*. Berlin: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- WBCSD (2002). The Sustainable Mobility Project. *World Business Council for Sustainable Development*, pp 1-3.
- Williams, C., Chair, S. C., & Alliance, Z. (3 de junho de 2020). *Green Power*. Obtido de zigbeealliance.org: <https://zigbeealliance.org/wp-content/uploads/2019/11/Green-Power-White-Paper.pdf>
- wiwo (20 de janeiro de 2020). *eHighway: Erste deutsche Elektro-Autobahn für Lkw geht an den Start*. Obtido de Wirtschafts Woche (wiwo) : <https://www.wiwo.de/unternehmen/auto/ehighway-erste-deutsche-elektro-autobahn-fuer-lkw-geht-an-den-start/24311154.html>
- Wood, D. F. (2020). *Logistics*. San Francisco: Encyclopaedia Britannica, Inc. Obtido de <https://www.britannica.com/topic/logistics-business>
- Zeng, D., Miyazaki, T., Guo, S., Tsukahara, T., Kitamichi, J., & Hayashi, T. (2013). 9th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks. *Evolution of Software-Defined Sensor Networks* (pp. 410-413). Japan: IEEE.
- Zhi, H., Covic, G., & Boys, J. (2015). Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. *Wireless Fleet Charging System for Electric Bicycles. Vol 3, n° 1*. USA: IEEE.
- Zigbee (1 de junho de 2020). *Developer Resources, Zigbee Technical Presentation*. Obtido de zigbeealliance.org: https://zigbeealliance.org/developer_resources/?solution_type%5B%5D=zigbee