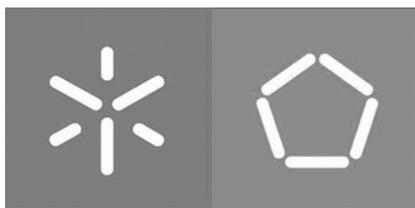


**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Ana Cláudia Andriolli Vieira da Silva

## **Transições urbanas, um contributo à descarbonização**

Outubro 2021



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Ana Cláudia Andriolli Vieira da Silva

## **Transições urbanas, um contributo à descarbonização**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado em Engenharia Urbana

Trabalho realizado sob a orientação da  
**Prof.<sup>a</sup> Dra. Lígia Maria Marques de Oliveira  
Torres Silva**

Outubro 2021

## **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  
CC BY**

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer algumas pessoas que tiveram papel fundamental neste mestrado.

Agradeço à Professora Lígia Torres Silva, por todos os ensinamentos partilhados, incentivo e orientação ao longo desses meses.

A todos os professores do Mestrado em Engenharia Urbana da Universidade do Minho, que com seus ensinamentos permitiram criar as bases para que esse trabalho pudesse ser desenvolvido.

À Câmara Municipal de Braga, em especial às arquitetas Fátima Pereira e Filipa Corais, por apoiarem o desenvolvimento dessa dissertação nas instalações do Laboratório de Inovação Urbana (LIU).

Aos colegas Filipa Paiva, Raquel Marques e Carlos Ferreira pelas informações e esclarecimentos acerca do desenvolvimento do projeto BUILD e da dinâmica da cidade, que muito contribuíram para uma melhor compreensão dos mesmos.

À Paula Barcelos pelo apoio e companheirismo durante os meses de desenvolvimento das nossas dissertações.

E de forma muito especial, ao meu esposo Jóshuan, ao meu irmão André e à minha mãe Ana Lúcia, por todo amor, confiança e incentivo que sempre demonstraram ao longo de todo trajeto, permitindo que eu chegasse até aqui.

## **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.

## **Transições urbanas, um contributo à descarbonização**

### **Resumo**

A nível global, as cidades são responsáveis por 70% das emissões de dióxido de carbono, sendo este o principal gás de efeito de estufa (GEE) de origem antropogénica. Para se atingir as metas estabelecidas no acordo de Paris de limitar o aquecimento global a 1,5° C, é fundamental implementar estratégias e testar inovações que permitam fazer a transição das cidades para um modelo urbano com baixa emissão carbónica, sem pôr em causa o desenvolvimento económico e social das mesmas.

Dentre as ações realizadas a nível municipal para redução dos GEE estão os laboratórios vivos, que utilizam áreas estrategicamente escolhidas da cidade para testar, desenvolver, validar e co-criar soluções em contexto real, em parceria com autarquia, cidadãos, empresas e centros de investigação, buscando impulsionar mudanças estruturais que vão muito além do que qualquer um desses grupos isoladamente poderia realizar.

A partir do estudo de caso do Braga Urban Innovation Laboratory Demonstrator - BUILD, um laboratório vivo para descarbonização localizado na cidade de Braga em Portugal, e dos dados obtidos com a implementação das intervenções propostas neste projeto, o presente estudo desenvolveu uma metodologia multicritério para avaliar a descarbonização alcançada no primeiro ano de projeto e para auxiliar na seleção das intervenções que poderão ser alargadas às demais freguesias, em busca da neutralidade carbónica da cidade.

Nesta metodologia, as intervenções foram consideradas indicadores e divididas em três setores (Mobilidade, Vias Públicas e Edificado), sendo que todos os setores contaram com a indicador Pessoas, a fim de avaliar o impacto da comunidade na descarbonização.

Após a normalização dos dados de descarbonização, estabeleceu-se cenários de agregação utilizando-se diferentes ponderações entre setores e entre indicadores. Os resultados permitiram avaliar a descarbonização alcançada pelo BUILD, bem como apontar as intervenções que mais se destacaram.

**Palavras-chave:** descarbonização de cidades, laboratórios vivos, métodos multicritério de apoio à decisão

## **Urban transitions, a contribution to decarbonization**

### **Abstract**

Globally, cities are responsible for 70% of carbon dioxide emissions, this being the main greenhouse gas (GHG) of anthropogenic origin. To achieve the goals established in the Paris agreement to limit global warming to 1.5° C, it is essential to implement strategies and test innovations that allow the transition of cities to a low carbon emission urban model, without endangering their economic and social development.

Among the actions carried out at the municipal level to reduce GHG are Living Labs, which use strategically chosen areas of the city to test, develop, validate, and co-create solutions in a real context, in partnership with local authorities, citizens, companies and research centers, seeking to drive structural changes that go far beyond what any of these groups alone could accomplish.

Based on the case study of Braga Urban Innovation Laboratory Demonstrator – BUILD, a living lab located in the city of Braga in Portugal, and the data obtained with the implementation of the interventions proposed in this project, this study developed a multicriteria methodology to evaluate the decarbonization achieved in the first year and to assist in the selection of interventions that may be extended to other parishes, in search of the city's carbon neutrality.

In this methodology, the interventions were considered indicators and divided into three sectors (Mobility, Public Roads and Buildings), and all sectors had the People indicator to measure the impact of the community on decarbonization.

After the normalization of decarbonization data, scenarios for aggregation were established using different weights between sectors and between indicators. The results made it possible to assess the decarbonization achieved by BUILD, as well as to point out the interventions that stood out the most.

**Keywords:** Cities decarbonization, living labs, multiple criteria decision analysis (MCDA)

## **Lista de Siglas e Acrónimos**

AHP – Analytic Hierarchy Process

BUILD - Braga Urban Innovation Laboratory Demonstrator

CIVITAS – City Vitality and Sustainability

CCUS – Carbon Capture, Utilization and Storage

DAC – Direct Air Capture

ENOLL – European Network of Living Labs

GEE – Gases com efeito de estufa

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

LED - Light Emitting Diode

LVD – Laboratório Vivo para a Descarbonização

MCDA – Multiple Criteria Decision Analysis

NZEB – Nearly Zero Energy Building

OWA – Ordered Weighted Average

PMUS – Plano de Mobilidade Urbana Sustentável

SAAP – Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais

VLT – Veículo Leve sob Trilhos

WLC – Weighted Linear Combination

## Índice

1.	Introdução .....	1
1.1.	Objetivos.....	2
1.2.	Estrutura da dissertação.....	2
2.	Descarbonização em cidades .....	4
2.1.	Alterações climáticas e as áreas urbanas.....	4
2.2.	Sustentabilidade urbana e cidades inteligentes .....	6
2.3.	Citizen science .....	7
2.4.	Laboratórios vivos como estratégias de atuação local.....	9
2.5.	Laboratórios vivos para descarbonização .....	11
2.5.1.	Intervenções para descarbonização.....	13
2.5.2.	Intervenções para redução de emissões de gás carbónico .....	13
2.5.3.	Intervenções para captura e armazenamento de gás carbónico .....	25
3.	Métodos multicritério de apoio à decisão .....	31
3.1.	Utilização de metodologias multicritério em cidades.....	31
3.2.	Definição da metodologia e dos critérios de avaliação .....	33
3.3.	Definição de pesos para os indicadores .....	33
3.4.	Normalização de indicadores.....	34
3.5.	Combinação de indicadores .....	35
4.	Metodologia .....	40
4.1.	Proposta de metodologia multicritério .....	40
4.2.	Definição dos parâmetros de comparação e do critério de avaliação dos indicadores.....	41
4.3.	Normalização, ponderação e combinação dos indicadores .....	42
5.	Estudo de caso: Projeto BUILD.....	43
5.1.	Caracterização da área BUILD.....	44
5.2.	Intervenções realizadas na área BUILD.....	46

5.2.1.	Medidas complementares em mobilidade .....	46
5.2.2.	Programa School Bus .....	48
5.2.3.	Passadeira inteligente com sistema Omniflow .....	49
5.2.4.	Iluminação pública eficiente e inteligente .....	51
5.2.5.	Melhoria da eficiência energética em edifícios .....	52
5.2.6.	Melhoria da eficiência hídrica em edifícios.....	55
5.2.7.	Programa Conexão Mais Cidadania e ações para uma mobilidade sustentável.....	57
6.	Avaliação multicritério da descarbonização alcançada no BUILD .....	62
6.1.	Metas de descarbonização, objetivos e cenários de referência.....	63
6.2.	Avaliação de indicadores a partir dos dados de descarbonização.....	64
6.2.1.	Medidas complementares em mobilidade .....	64
6.2.2.	Programa School Bus .....	65
6.2.3.	Passadeira inteligente com sistema Omniflow .....	70
6.2.4.	Iluminação pública eficiente e inteligente .....	71
6.2.5.	Melhoria da eficiência energética em edifícios .....	72
6.2.6.	Melhoria da eficiência hídrica em edifícios.....	74
6.2.7.	Programa Conexão Mais Cidadania e ações para uma mobilidade sustentável.....	75
6.3.	Agregação de indicadores com simulação de cenários .....	77
7.	Resultados e discussão .....	82
7.1.	Sobre os cenários de avaliação multicritério.....	82
7.2.	Sobre os resultados obtidos em cada intervenção do BUILD .....	83
7.2.1.	Medidas complementares em mobilidade .....	83
7.2.2.	Programa School Bus: .....	84
7.2.3.	Passadeiras inteligentes com sistema Omniflow .....	88
7.2.4.	Iluminação pública eficiente e inteligente .....	89
7.2.5.	Melhoria da eficiência energética em edifícios .....	89

7.2.6.	Melhoria da eficiência hídrica em edifícios.....	91
7.2.7.	Programa Conexão Mais Cidadania e ações para uma mobilidade sustentável.....	92
8.	Conclusão.....	94
8.1.	Avaliação de sucesso em projetos de transição para a sustentabilidade.....	95
8.2.	Sugestão de estudos futuros para o Living Lab BUILD.....	96
9.	Referências bibliográficas .....	98
ANEXO I	.....	105

## Lista de Figuras

<i>Figura 1 - Indicadores de uma mudança climática global.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 2 - A relação entre poluição atmosférica e alterações climáticas.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 3 - Ciclo de retroalimentação dos laboratórios vivos para descarbonização.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 4 - Iluminação pública com LED e painel solar fotovoltaico.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 5 - Exemplo de passadeira inteligente .....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 6 - Exemplo de neutralização do transporte aéreo .....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 7 - Funções Fuzzy.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 8 - Espaço estratégico de decisão .....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 9 - Proposta de Avaliação Multicritério da Descarbonização gerada pelo LVD.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 10 - Enquadramento da área BUILD na cidade de Braga.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 11 - Caracterização da área BUILD delimitada pelas suas principais vias .....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 12 - Projeto Kiss &amp; Go implementado na zona BUILD.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 13 - Pilaretes inibem o estacionamento abusivo na zona BUILD (antes e depois da intervenção).....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 14 - Antes e depois da implementação da Faixa Bus.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 15 – Divulgação do Projeto School Bus.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 16 - Autocarro do School Bus chegando à zona BUILD .....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 17 - Sistema de microgeração de energia Omniflow .....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 18 - Passadeira após a intervenção: sinais verticais retroiluminados, iluminação de solo e Omniflow (dia).....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 19 - Passadeira após a intervenção: sinais verticais retroiluminados, iluminação de solo e Omniflow (entardecer) .....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 20 - Modelo tridimensional da Escola básica do 1º ciclo com Jardim de infância das Enguardas.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 21 - Edifício do 1º ciclo da Escola Básica das Enguardas - antes da intervenção BUILD.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 22 - Edifício do 1º ciclo da Escola Básica das Enguardas - após o revestimento térmico e sombreamento - BUILD.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 23 - 1ª fase - escavação e colocação do reservatório .....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 24 - 2ª fase - instalação do reservatório.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 25 - 3ª fase - finalização da instalação do reservatório.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 26 - Desenhos participantes do concurso realizado pelo Programa Conexão Mais Cidadania.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 27 – Sessão de diálogo da 1ª Eco Semana na Escola das Enguardas .....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 28 - Alunos do Colégio Dom Diogo de Sousa durante o workshop de ideias e durante os Jogos da Mobilidade .....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 29 - Perceção dos encarregados de educação sobre a Mobilidade em Braga.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 30 - Sessão pública ocorrida em 30/03/2019 com a comunidade.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 31 - Intervenção de Urbanismo Tático através da construção de mobiliário urbano para a zona BUILD .....</i>	<i>61</i>

<i>Figura 32 – Estrutura de Avaliação Multicritério da Descarbonização gerada pelo Projeto BUILD.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 33 - Percentual de redução das emissões ao longo do período School Bus 2018/2019.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 34 - Adesão ao Projeto School Bus por instituição de ensino.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 35 - Exemplo de outras ações para melhoria da eficiência hídrica em edifícios.....</i>	<i>92</i>

## 1. Introdução

As alterações climáticas trouxeram a necessidade de ações concretas e imediatas para reduzir o impacto gerado pelas ações de hoje no futuro do planeta e nas condições de vida dessa e das próximas gerações, uma preocupação apontada em 1987 pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED, 1987), e que trouxe à tona o desafiador conceito de desenvolvimento sustentável.

A sustentabilidade ampara-se sobre três pilares: económico, social e ambiental. Desta forma, defende-se que o desenvolvimento deve ser economicamente viável, não comprometendo o desenvolvimento económico e a competitividade, ser socialmente justo, promovendo uma sociedade inclusiva e equilibrada e ambientalmente tolerável, garantindo um ambiente limpo e saudável (ONU, 2002).

Globalmente, as taxas de crescimento das áreas urbanas têm sido superiores às taxas de crescimento das populações, evidenciando um forte movimento de migração para as cidades. De acordo com Ahvenniemi, Huovila, Pinto-Seppä, & Airaksinen (2017), até 2050 é esperado que 66% da população mundial viva em zonas urbanas.

Tendo em vista que as cidades são responsáveis por 70% das emissões de dióxido de carbono (Gomez Echeverri, 2018), e sendo este o principal gás de efeito de estufa (GEE) de origem antropogénica, é notória a necessidade de se planear cidades a partir de um modelo de desenvolvimento urbano sustentável e uma melhor gestão do crescimento urbano (ECOSOC, 2019).

Em termos de descarbonização de cidades, os ativos de alto custo de implementação e de longa vida útil como edifícios, transportes, infraestruturas de água e energia são os mais relevantes dado o potencial de descarbonização ou o impacto que o uso de opções não sustentáveis pode causar (IPCC, 2014). No entanto, conforme defende Gomez Echeverri (2018), os maiores obstáculos para que os investimentos de baixo carbono cresçam ao ritmo necessário para atingir as metas de redução propostas no Acordo de Paris, são os custos de implementação, que em geral são mais altos que as soluções tradicionais, e o receio de que os resultados obtidos não façam jus ao valor investido. Nesse sentido, muitos governos locais, a partir de parcerias público-privadas, têm utilizado laboratórios vivos em zonas urbanas como forma de testar, cocriar e validar inovações que possam contribuir na redução da pegada carbónica, isto é, na quantidade de GEE produzidos direta e indiretamente, e ao mesmo tempo estimular o crescimento económico (J. Evans & Karvonen, 2014; Voytenko, McCormick, Evans, & Schliwa, 2016).

No entanto, decorrida a implementação das intervenções na área de teste, é necessário avaliar os resultados obtidos, de forma a identificar as intervenções que podem ser alargadas a outras regiões da cidade, aquelas que não obtiveram os resultados esperados, mas que podem ser melhoradas, ou ainda aquelas que não são adequadas às características da cidade e que devem ser descontinuadas.

O estudo da etapa pós implementação permite fundamentar os benefícios e oportunidades geradas pela adoção das estratégias de baixo carbono e contribui para incentivar outras cidades a fazer o mesmo.

## **1.1. Objetivos**

A partir do estudo de caso do Laboratório Vivo para Descarbonização instalado na cidade de Braga em Portugal, denominado projeto BUILD, e através dos dados obtidos da implementação das intervenções propostas, o presente estudo pretende como objetivo geral desenvolver uma metodologia multicritério a ser utilizada como uma ferramenta de apoio à decisão pela Câmara Municipal na seleção de quais medidas devem ser alargadas às demais freguesias do concelho, em busca da neutralidade carbónica da cidade.

De modo específico, o projeto propõe-se a:

- Estudar o conceito e potencialidade dos laboratórios vivos;
- Estudar as medidas de descarbonização em áreas urbanas e seus respetivos impactos;
- Estudar os conceitos de métodos de avaliação multicritério;
- Estudar os resultados de descarbonização obtidos pelas diferentes intervenções realizadas no âmbito do Laboratório Vivo para Descarbonização (LVD) do projeto BUILD;
- Propor uma metodologia de avaliação multicritério utilizando os dados gerados no LVD, de forma a avaliar o desempenho do projeto em termos de descarbonização;
- Estabelecer cenários de descarbonização considerando diferentes ponderações dos setores de intervenção; e
- Identificar as melhores práticas para descarbonização obtidas no contexto do projeto BUILD considerando a metodologia aplicada.

## **1.2. Estrutura da dissertação**

A dissertação está estruturada em 9 capítulos, da seguinte forma:

- O Capítulo 1 apresenta a introdução e os objetivos do estudo;

- Os Capítulos 2 e 3 abordam a revisão literária, a qual foi desmembrada em duas temáticas: descarbonização em cidades e métodos multicritério, para melhor desenvolvimento dos assuntos;
- O Capítulo 0 apresenta a metodologia de avaliação multicritério proposta para avaliar a descarbonização obtida no estudo de caso (LVD Build);
- O Capítulo 6 apresenta o laboratório vivo para descarbonização BUILD e as intervenções realizadas;
- O Capítulo 7 apresenta a aplicação da metodologia de avaliação multicritério proposta ao estudo de caso;
- O Capítulo 7 apresenta os resultados e discussões da metodologia aplicada e também discussões sobre os resultados percebidos pelos participantes do projeto;
- O Capítulo 8 apresenta as conclusões e propostas de estudos futuros; e
- O Capítulo 9 apresenta as referências bibliográficas utilizadas na dissertação.

## 2. Descarbonização em cidades

### 2.1. Alterações climáticas e as áreas urbanas

O efeito de estufa é um processo natural que resulta de parte da radiação solar que entra na atmosfera, seja absorvida pelo planeta, mantendo temperaturas adequadas à manutenção da vida humana na Terra. No entanto, a intensificação do efeito estufa, gerada por um século e meio de industrialização e de um modo de vida cada vez mais incompatível com a capacidade de regeneração do planeta, tem contribuído de maneira determinante para o aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos mais severos (secas, inundações, furacões), derretimento das calotas polares, extinção de espécies, entre outras consequências que afetam de maneira transversal todas as regiões do planeta (IPCC, 2013, 2014). A Figura 1, divulgada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), apresenta indicadores observados ao longo de um século que evidenciam cientificamente a ocorrência de uma mudança no clima global.

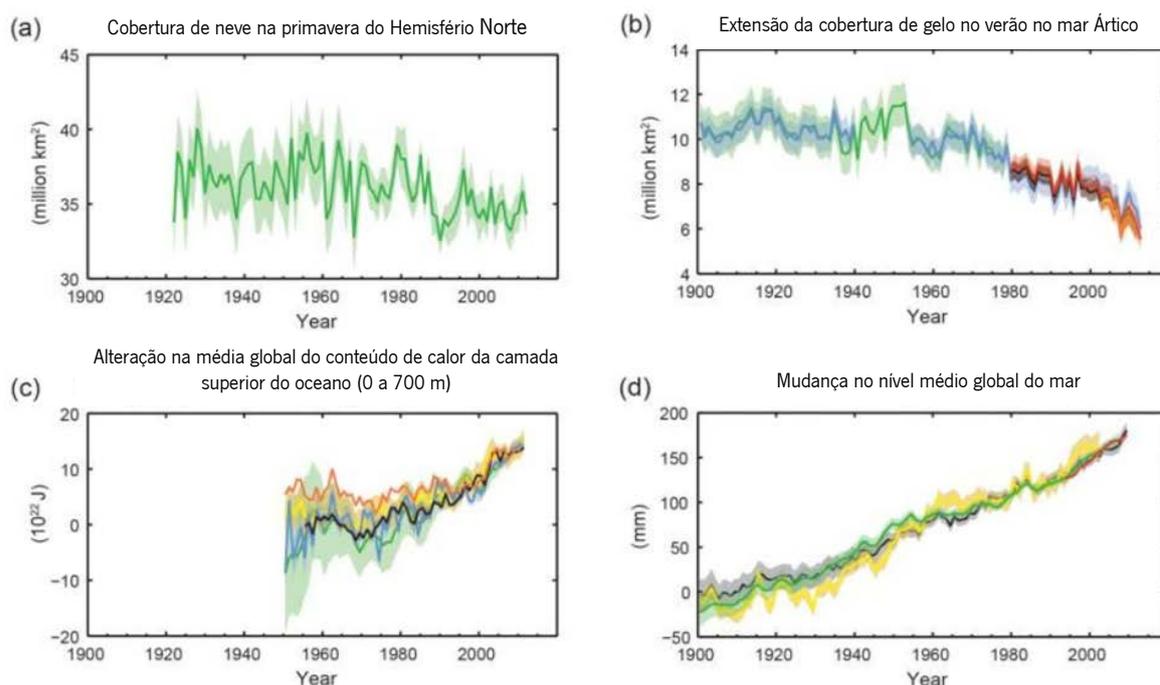


Figura 1 - Indicadores de uma mudança climática global

Fonte: IPCC (2013)

Os principais gases causadores do efeito de estufa (GEE) presentes naturalmente na atmosfera são o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o ozono ( $\text{O}_3$ ) e o vapor d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Além destes, há outros GEE de origem totalmente antropogénica, dentre eles os halocarbonos, os compostos de bromo, os clorofluorcarbonetos (CFCs), os hidrofluorcarbonetos (HFCs), os perfluorcarbonetos (PFCs) e o hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ) (IPCC, 2014).

De acordo com o IPCC (2018), limitar o aquecimento global a 1,5° C acima dos níveis pré-industriais pode reduzir significativamente os efeitos devastadores já percebidos e que tendem a se agravar caso seja mantido o atual ritmo de geração de GEE.

No contexto do desenvolvimento sustentável, isso implica em transições de sistemas que podem ser viabilizadas por um aumento de investimentos em adaptação e mitigação, instrumentos de políticas públicas, aceleração da inovação tecnológica e mudanças de comportamento.

Apesar do tema ser discutido em cimeiras mundiais entre chefes das nações, são as cidades que concentram a maior parte da pegada carbónica e devem ser o foco das análises. Um estudo desenvolvido por Moran et al. (2018) analisando 13 mil das maiores concentrações urbanas mundiais, concluiu que algumas cidades detêm grande parte das emissões carbónicas de todo um país, e apontou ainda que 20% das cidades com maior pegada carbónica estão localizadas em países cujas emissões totais e per capita são baixas, sugerindo que políticas locais e ações de conscientização dos habitantes realizadas nas maiores concentrações urbanas de cada país podem ser mais efetivas do que esforços a nível nacional. J. Evans & Karvonen (2014) sugerem que compromissos nacionais para reduzir as emissões devem ser reduzidos a nível regional ou local, uma vez que ações em menor escala são mais fáceis de ser implementadas e personalizadas ao contexto, além de gerar empoderamento e motivação na adoção de metas e medidas mais rigorosas por parte dos atores locais.

Em meios urbanos da Europa, o tráfego automóvel responde por 40% das emissões de CO<sub>2</sub> de todo o setor de transportes (European Commission, 2007), e é a principal fonte de poluição atmosférica e sonora. Além do gás carbónico (CO<sub>2</sub>) e do vapor d'água (H<sub>2</sub>O), a combustão incompleta dos veículos movidos a combustíveis fósseis emite quantidade significativa de poluentes na atmosfera, como monóxido de carbono (CO), dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), compostos orgânicos voláteis (COVs) e materiais particulados (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>), os quais são a causa de diversas doenças cardiovasculares e do trato respiratório, bem como responsáveis por um significativo número de mortes prematuras todos os anos (Silva, 2015), ameaçando a qualidade de vida da população, conforme apresentado na Figura 2.

Por isso, medidas de descarbonização em cidades são estratégicas, não somente a nível ambiental, mas também a nível de saúde pública, ao reduzir a incidência de doenças causadas pela poluição atmosférica, bem como a nível de economia local, no que tange à competitividade das cidades em atrair pessoas e empresas.

## THE LINK BETWEEN AIR POLLUTION & CLIMATE CHANGE

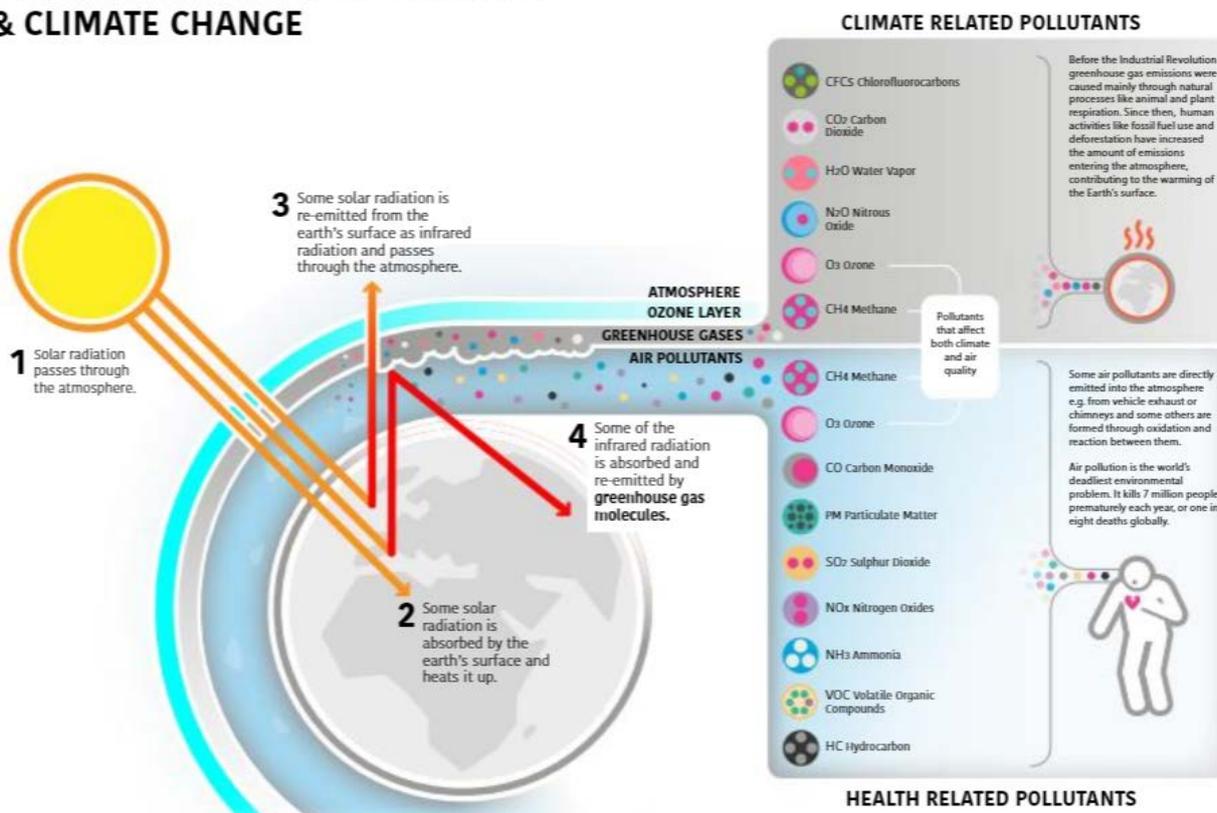


Figura 2 - A relação entre poluição atmosférica e alterações climáticas

Fonte: Cortés & Hassan (2019)

A estratégia “Cidades Sustentáveis 2020”, desenvolvida pelo governo português em alinhamento com a Agenda Urbana da União Europeia, destaca importantes medidas orientadoras de transição para um modelo de baixo carbono, dentre elas “reduzir a intensidade energética das cidades, assumindo respostas diferenciadas de gestão da procura, redução do consumo e promoção da eficiência energética dos distintos agentes urbanos e, em particular, dos setores público, empresarial e residencial, assim como dos subsistemas de iluminação, mobilidade, gestão da água e de resíduos, incluindo a integração e a utilização de fontes de energia renovável” (DG Território, 2015).

### 2.2. Sustentabilidade urbana e cidades inteligentes

Conforme acima referido, as cidades têm um papel fundamental no combate às mudanças climáticas e o emprego de novas tecnologias inteligentes é visto como fator chave na solução de problemas urbanos como mobilidade, saúde, eficiência energética, gestão de resíduos, podendo promover a diminuição das emissões de gases de efeito estufa e o aumento da capacidade de adaptação das cidades.

O avanço dessas tecnologias e a necessidade de resolver os problemas urbanos promoveu o surgimento de diversos projetos de cidades inteligentes (*smart cities*), com financiamentos públicos e privados, os quais buscavam desenvolver soluções “limpas”. No entanto, com o passar dos anos, observa-se que muitas cidades se tornaram mais tecnológicas, mas não necessariamente mais sustentáveis. Apesar de compartilharem objetivos semelhantes às cidades sustentáveis, existe uma grande variedade de definições de cidades inteligentes e nem todas elas refletem sua relação com as metas de sustentabilidade no seu sentido mais amplo, o qual abrange não somente o meio ambiente, mas também o bem-estar social e a sustentabilidade financeira dos cidadãos e das cidades (Ahvenniemi et al., 2017; Cavada & Rogers, 2019).

Conforme defende o IEEE Smart Cities (n.d.), há duas razões principais para esse distanciamento: a primeira é a falta de uma definição clara do conceito de *smart city*, e de uma estrutura coesa, integrada e padronizada que abranja as diversas áreas que devem ser contempladas numa cidade inteligente. A outra é a aplicação de tecnologias individuais para atender situações pontuais ou de interesse específico de um *stakeholder*. Sem uma integração que permita sinergia, reutilização de dados e serviços desenvolvidos em cada projeto, os resultados obtidos ficam muito aquém das potencialidades que uma cidade inteligente pode proporcionar.

Em busca dessa maior integração e partilha de informação, a União Europeia tem se destacado no incentivo a projetos de laboratórios vivos, testes regionais cocriados, projetos envolvendo ciência cidadã (*citizen science*) e cidades inteligentes com novos acordos de interoperabilidade.

Apesar da difícil tarefa de equilibrar inovação com acesso aberto a dados, ao recolher, analisar e compartilhar dados, cidades e comunidades podem tomar melhores decisões, aperfeiçoar operações e garantir uma melhor experiência para todos os que vivem ou se relacionam com a cidade (IEEE Smart Cities, n.d.; Lewis, 2017).

### **2.3. Citizen science**

O envolvimento da comunidade local em pesquisas científicas é algo que ocorre desde 1900, com a participação de voluntários em projetos de monitoramento e rastreamento de espécies animais. Denominada *citizen science*, este tipo de colaboração possuía uma abordagem de cima para baixo, onde investigadores desenvolviam os projetos e a população era convidada a participar apenas na recolha de dados e informações que seriam difíceis de ser obtidas por investigadores de maneira convencional. Ao longo do tempo, e devido a uma maior conscientização da população sobre o impacto antropogénico nos ecossistemas naturais, os cidadãos passaram a ter uma função mais ativa no processo de investigação, incluindo a identificação de problemas, o debate de soluções e a ajuda na

gestão e proteção de espécies e recursos naturais, como é o caso dos monitoramentos ou manejos de base comunitária (CBM). Neles, cidadãos e outros agentes, como agências governamentais, universidades, grupos comunitários e instituições locais, colaboram para gerenciar e/ou monitorizar, rastrear e responder a problemas comuns à comunidade (Conrad & Hilchey, 2011; Jiang et al., 2016).

### **Benefícios da *citizen science***

Dentre os benefícios observados com o uso da *citizen science* incluem-se o aumento no interesse e a mudança de comportamento através do conhecimento adquirido no envolvimento com a ciência, o aumento nos níveis de confiança, harmonia e cooperação da comunidade (denominado capital social), maior zelo pelo patrimônio ambiental, aumento da inclusão social, além dos benefícios gerados ao ambiente e/ou espécie monitorizada. Para as entidades governamentais, oferecem complemento à monitorização realizada por funcionários públicos ou por sistemas instalados, e permite a ampliação da área monitorizada. Adicionalmente, ao procurar soluções e pressionar outras esferas governamentais em benefícios à comunidade, essa atividade acaba por auxiliar no desenvolvimento local (Conrad & Hilchey, 2011).

Esse mesmo tipo de processo tem sido observado em áreas urbanas, numa nova ótica de planeamento urbano, que valoriza a participação popular e a cocriação, especialmente incentivada pelos laboratórios vivos e *smart cities*.

### **Uso de tecnologias inteligentes através do cidadão**

Com o avanço da tecnologia e desenvolvimento de sensores, os investigadores perceberam que os cidadãos têm literalmente em mãos uma poderosa ferramenta: os smartphones. Portadores de diversos sensores internos como câmaras, microfones, geolocalizadores, acelerômetros e barômetros, os smartphones permitem aos cidadãos recolher dados em tempo real e gerar informações que, ao serem compartilhadas e processadas pelo governo local, podem ajudar a entender o ambiente em que vivem. Adicionalmente, conseguem identificar e reportar mais rapidamente problemas locais e dar sugestões na implementação de melhorias na cidade. No sentido inverso, conseguem ser alertados mais rapidamente em caso de desastres ambientais ou em situações mais corriqueiras como constrangimento de vias ou interrupção temporária de fornecimento de água para manutenção de condutas.

## **Participação e envolvimento da população**

No entanto, o desafio enfrentado pelos laboratórios vivos e outros projetos que envolvem a participação popular consiste em encontrar maneiras de garantir uma participação ativa e duradoura nestes projetos.

Além da utilização de técnicas como workshops de ideias e seções públicas, as técnicas de gamificação – uma forma de instruir, influenciar comportamento e incentivar resultados práticos através do uso de atividades lúdicas e atrativas, que estabelecem objetivos, competição e recompensas semelhantes aos videogames, muito focada na população nascida após 1980 – tem se mostrado bastante promissora no engajamento da população e no desenvolvimento de um sentimento de cocriação por parte dos jogadores/ cidadãos (Cavada & Rogers, 2019; Lewis, 2017).

Estimular o envolvimento de cidadãos e capacitá-los para desenvolver soluções baseadas em problemas que estes consideram relevantes ou de seu maior interesse também costuma gerar bons resultados (Jiang et al., 2016; Leminen, Niitamo, & Westerlund, 2017).

Tendo como foco o contexto urbano, Souza (2019) aborda o uso do urbanismo tático, um tipo de urbanismo focado na ação, como forma de mobilizar e envolver a população local, nomeadamente em projetos envolvendo mudança de design físico de ruas e espaços públicos, dentre os quais estão os projetos de mobilidade urbana sustentável.

### **2.4. Laboratórios vivos como estratégias de atuação local**

Segundo Leminen et al. (2017), o conceito de laboratório vivo surgiu nos EUA com o Professor William Mitchell do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), onde investigadores estudavam o comportamento de pessoas no cotidiano, através de ambientes que simulavam uma casa. A partir da influência do Prof. Mitchell e da sua equipa, e dos promissores resultados obtidos nestas pesquisas, o conceito de laboratório vivo chegou aos laboratórios do grupo empresarial NOKIA na Finlândia, onde o mesmo foi utilizado com o objetivo de melhorar a eficiência dos dispositivos móveis através do uso em contexto real. Os resultados obtidos neste projeto e nos subsequentes enfatizaram o ganho criativo da pesquisa em ambiente real, bem como a procura por utilização de inovação aberta e centrada no usuário. Apesar do temor natural gerado por abrir o ambiente de investigação, as empresas de tecnologia da comunicação perceberam o potencial competitivo comercial que o uso desse conceito pode gerar.

A partir de 2003 surgem os primeiros projetos pilotos de laboratórios vivos voltados ao desenvolvimento urbano na Finlândia e Dinamarca, numa cocriação envolvendo universidades e empresas de tecnologia para o desenvolvimento de novos serviços digitais para cidadãos.

Rapidamente o conceito chega a outras partes da Europa, como Reino Unido, Itália, Islândia. Nesta etapa observa-se uma maior procura dos laboratórios por financiamentos e a criação de projetos maiores, financiados inicialmente por empresas de tecnologia, envolvendo laboratórios de diferentes países, e posteriormente por agências governamentais.

Destaca-se nesse processo o contributo do quinto programa-quadro da União Europeia que incentivou a investigação multidisciplinar e sua implementação em diferentes contextos e cidades, alargando o uso de laboratórios vivos para além do contexto urbano, como áreas rurais e arquipélagos, como ocorrido na Finlândia, Hungria, Espanha e África do Sul (Leminen et al., 2017).

O surgimento de laboratórios em diferentes regiões, a necessidade de partilhar experiências e desafios, bem como discutir futuras estratégias levou à criação de redes nacionais de laboratórios vivos, e posteriormente, ao surgimento em 2006 do ENOLL, a rede europeia de conexão de laboratórios vivos. Atualmente com mais de 150 laboratórios vivos ativos em seu grupo, esta rede tem exercido importante papel como fonte de metodologias, guiões e ferramentas aplicadas aos laboratórios vivos (Hossain, Leminen, & Westerlund, 2019), e abarca projetos com os mais diversos contextos e focos de atuação, possuindo integrantes em todo o mundo.

É possível, portanto, definir os laboratórios vivos como organizações de várias partes interessadas (setor público, privado e comunidade local), que realizam projetos de inovação aberta e colaborativa e se concentram na experimentação na vida real, visando encontrar soluções para desafios locais, utilizando o espaço como ambiente de teste e validação de novos serviços, soluções e produtos, e de transição para um desenvolvimento mais sustentável (P. Evans, Schuurman, Ståhlbröst, & Vervoort, 2017; Hossain et al., 2019).

Diferentemente dos laboratórios tradicionais, onde geralmente as investigações se concentram em um campo de estudo, os laboratórios vivos procuram ser locais de convergência, incentivando a participação e interação entre instituições públicas, centros de investigação, empresas e cidadãos (conceito denominado 4P's ou *quadruple helix stakeholder engagement*) (Vaititinen, n.d.). Neles o aprendizado experimental leva os usuários a deixarem de ser sujeitos tradicionalmente observados para se tornarem membros ativos no processo científico, seja na criação ou na contribuição com ideias e experimentações (Lewis, 2017). Por fim, procura-se promover uma cidadania ativa, criar parcerias e desenvolver soluções que beneficiem as várias partes envolvidas.

Muitos dos laboratórios vivos em operação têm como objetivo o desenvolvimento de projetos voltados à melhoria do ambiente social/urbano, os quais geralmente são financiados por universidades ou agências de fomento governamental (Hossain et al., 2019). Outros são desenvolvidos

e geridos separadamente por grandes empresas, como as de telecomunicações (Leminen et al., 2017). Todavia, conforme abordado no tópico sobre cidades inteligentes, a criação de uma maior sinergia poderia beneficiar ambos os lados. Para os laboratórios já existentes permitiria sua manutenção para além de um projeto específico e o desenvolvimento de um modelo de negócios sustentável, e para empresas de qualquer porte, possibilitaria testar inovações sem ter os custos de criar e gerir um laboratório vivo próprio. Este movimento poderia inclusive ser catalisador de novos projetos. No entanto, desenvolver e viabilizar um conceito de rede de negócios que crie valor para as diversas partes interessadas e ao mesmo tempo permita equilibrar inovação, propriedade intelectual e acesso aberto a dados continua a ser o grande desafio.

## 2.5. Laboratórios vivos para descarbonização

No que tange à sustentabilidade ambiental e à meta de redução das emissões de carbono, os laboratórios vivos urbanos são excelentes plataformas de testes de novas abordagens governamentais para mitigação e adaptação às mudanças climáticas, de recolha de dados, em uma escala pequena e administrável, que tem por finalidade contribuir para tomada de decisões mais alargadas por parte dos governos locais.

Segundo J. Evans & Karvonen (2014), o apelo de um LVD reside no potencial de fornecer uma base de evidências para a realização de mudanças drásticas nas políticas de desenvolvimento urbano, particularmente aquelas relacionadas ao gerenciamento de infraestruturas e ao ambiente urbano material associado. Nele a inovação pode ser enquadrada num processo de produção e aplicação recursiva de conhecimento; gerando dados, avaliando os resultados, reavaliando políticas públicas, num ciclo de retroalimentação (Figura 3).

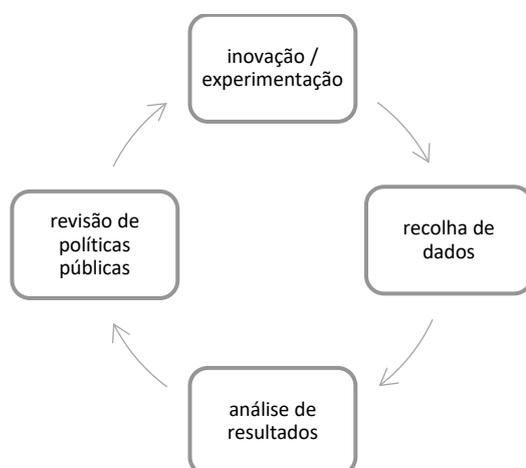


Figura 3 - Ciclo de retroalimentação dos laboratórios vivos para descarbonização

Fonte: Adaptado de J. Evans & Karvonen (2014)

Nesse sentido, o programa de implementação de Laboratórios Vivos para a Descarbonização lançado pelo Fundo Ambiental do Ministério do Ambiente de Portugal em 2017, e no qual o projeto BUILD, sediado em Braga, está inserido, juntamente com outras 11 cidades do país, tem um papel estratégico na transição para um modelo de desenvolvimento urbano de baixo carbono.

Um Laboratório Vivo para a Descarbonização (LVD) faz uso de uma zona urbana, transformando-a num espaço de teste, demonstração e validação de soluções tecnológicas integradas em contexto real que promovam a descarbonização em cidades. Para tal, procura-se a integração de soluções nos domínios dos transportes e mobilidade, eficiência energética em edifícios, serviços ambientais inovadores e promoção da economia circular, entre outros, numa lógica de interação entre os vários *stakeholders*. Por fim, pretende-se obter um ambiente de baixo carbono, resiliente, acessível, participado e conectado (Fundo Ambiental, 2018).

A área de implementação do LVD deve ser um espaço urbano delimitado geograficamente (por exemplo uma praça, uma freguesia ou uma avenida), onde seja possível demonstrar um conjunto de soluções tecnológicas integradas, e que possua características físicas, económicas e sociais distintivas que permitam considerar o espaço como um sistema. Devem ter ainda identidade local (social, cultural) que seja perceptível pela comunidade e pelos agentes externos; e espaços públicos de encontro que potenciem a exposição das soluções tecnológicas e a sua vivência pelos atores que de alguma forma interagem com aquele espaço (Fundo Ambiental, 2018).

O LVD tem como objetivos gerais a promoção de uma cidadania ativa, a sensibilização da população para os benefícios de um comportamento mais sustentável, e a apropriação por parte da comunidade local das novas tecnologias vivenciadas neste espaço.

No que tange à economia, pretende-se proporcionar uma área de teste em contexto real para soluções tecnológicas desenvolvidas por empresas (públicas e privadas) e pela comunidade científica, promovendo inovação e atraindo investimento através de parcerias com empresas e institutos nacionais e internacionais.

No âmbito de gestão pública, procura-se fomentar a demonstração de soluções tecnológicas integradas, em contexto real que gerem descarbonização, aumentem a eficiência e reduzam o consumo de energia, e que tenham potencial comprovado de ser ampliadas para a cidade como um todo, levando à cocriação de cidades mais inovadoras, sustentáveis, inclusivas e resilientes, visando a melhoria da qualidade de vida da comunidade.

### **2.5.1. Intervenções para descarbonização**

As intervenções utilizadas para descarbonizar uma cidade apresentadas neste estudo serão divididas em dois grupos: aquelas que reduzem as emissões de gás carbónico e aquelas que captam ou sequestram gás carbónico. Destaca-se aqui que não se pretende esgotar as possibilidades de intervenções para descarbonização urbana, mas dar destaque àquelas que estavam previstas no projeto inicial do estudo de caso ou que estão mais relacionadas a ele.

Adicionalmente, deve-se ter em conta que as ações de planeamento urbano se limitam às áreas de domínio público, e que portanto, não poderão abranger edifícios ou propriedades privadas, mas devem ser vistas como um modo de incentivo à transição carbónica do setor privado.

Importante destacar ainda que, tal qual um sistema vivo, as intervenções realizadas em um domínio (mobilidade, pessoas, edifícios) frequentemente se misturam a outros, exercendo impactos (positivos ou negativos) sobre eles. Por esse motivo, o presente estudo pretende em sua metodologia contabilizar os impactos interrelacionados.

### **2.5.2. Intervenções para redução de emissões de gás carbónico**

#### **2.5.2.1. Intervenções em mobilidade**

O carro por muito tempo foi visto como um sinónimo de poder aquisitivo. O desenvolvimento económico das cidades trouxe consigo o aumento da frota de carros e, ao longo de muitos anos, as cidades responderam a esse fenómeno com a abertura e o alargamento de vias, construção de viadutos, autopistas, entre outros, focando o planeamento dos transportes no tráfego automóvel e em medidas que possibilitassem a redução dos congestionamentos.

No entanto, conforme abordado anteriormente, o tráfego automóvel é uma das principais fontes de emissão de GEE nas zonas urbanas, além de ter impacto na poluição atmosférica, sonora, hídrica (escoamento das águas pluviais urbanas), na saúde pública (mortalidades e morbididades) e consequentemente na economia, gerando degradação na qualidade de vida da população. Diante da necessidade de se repensar as políticas de transportes nas cidades e combater as consequências desse fenómeno, surgiram os Planos de Mobilidade Urbana Sustentável.

#### **Planos de mobilidade urbana sustentável**

Aplicáveis a cidades de qualquer tamanho, os Planos de Mobilidade Urbana Sustentável (PMUS) tem como objetivo orientar os investimentos públicos em infraestruturas de transporte e desenvolver propostas e ações estratégicas para os sistemas, de forma que a circulação de pessoas e mercadorias

na cidade possa ocorrer de forma coesa e sustentável, integrando modais motorizados e não motorizados, priorizando os transportes coletivos, o deslocamento pedonal ou ciclável, tendo em vista a redução das emissões de GEE e a habitabilidade das cidades.

Diferentemente dos planos de mobilidade tradicionais, focados em solucionar congestionamentos automóveis, os princípios fundamentais dos PMUS são: acessibilidade, segurança, intermodalidade, eficiência, qualidade de vida, dinamismo económico, inclusão social e respeito ao ambiente. A Tabela 1, apresenta as principais diferenças entre planos tradicionais de transporte e PMUS.

*Tabela 1 – Principais diferenças entre Plano de Transporte Tradicional e Plano de Mobilidade Urbana Sustentável*

<b>Plano de Transporte Tradicional</b>		<b>Plano de Mobilidade Urbana Sustentável</b>
Foco no tráfego	→	Foco nas pessoas
Objetivos principais: melhoria da capacidade de fluxo das vias e da velocidade do tráfego	→	Objetivos principais: acessibilidade, sustentabilidade e qualidade de vida
Foco em um modal	→	Desenvolvimento integrado de todos os modais
Planeamento Setorial	→	Planeamento consistente com as políticas de áreas relacionadas
Infraestrutura como tema principal	→	Combinação de infraestrutura, mercado, e políticas de ocupação e uso do solo
Cobertura de uma área administrativa	→	Cobertura de uma área urbana funcional baseada nos movimentos pendulares
Domínio de engenheiros de tráfego	→	Equipas multidisciplinares
Planeado por especialistas	→	Planeamento coparticipado com cidadãos e demais stakeholders
Avaliação de impacto limitada	→	Avaliação sistemática dos impactos para facilitar o aprendizado e a melhoria
Planos de curto e médio prazo	→	Planos de curto e médio prazo, alinhados com uma estratégia e visão de longo-prazo

Fonte: Adaptado de Rupprecht Consult - Forschung & Beratung GmbH (2019)

Tendo em vista que cidades possuem desafios e características específicas, projetos como o CIVITAS – City Vitality and Sustainability, focado na promoção de uma mobilidade urbana eficiente e sustentável, utilizam de entre outras ferramentas, laboratórios vivos para desenvolver e testar in loco medidas que possam vir a ser implementadas nos PMUS de cada cidade, bem como promovem o planeamento coparticipado (Diez, Lopez-Lambas, Gonzalo, Rojo, & Garcia-Martinez, 2018).

De entre as medidas para desincentivar o uso de veículos privados em zonas centrais ou mais procuradas estão: reduzir a disponibilidade de vagas, limitar o acesso de veículos movidos a combustíveis fósseis, incentivar a partilha de veículos e incentivar os sistemas “park & ride”, em que se permite ao utilizador estacionar o carro em uma zona mais distante e viajar em transporte público, tendo como benefício uma zona de estacionamento gratuita ou com preço reduzido (Cortés & Hassan, 2019).

Os PMUS devem ainda incentivar o uso de modos suaves de deslocamento, nomeadamente o deslocamento pedonal, de bicicleta ou trotinete, bem como a utilização dos transportes públicos, em detrimento do uso de transportes automóveis individuais. Para tal, faz-se necessário promover áreas pedonais e redes cicláveis onde as pessoas se sintam seguras nos trajetos que percorrem, o que inclui boa pavimentação dos passeios e ciclovias, sinalização adequada, separação física sempre que necessário, para segregar peões, ciclistas e veículos, e boa iluminação. A presença de árvores nos trajetos pedonais também deve ser incentivada, uma vez que permitem sombra e um ambiente mais agradável para caminhar.

Para que haja adesão por parte da população ao uso de transportes públicos, os modais precisam ser confiáveis, isto é, ter pontualidade, ser confortáveis e seguros; ter boa cobertura de horários, ser integrados, facilitando o trânsito do utente entre um modal e outro; e ainda ser inclusivos, permitindo que pessoas com mobilidade reduzida, idade avançada ou que morem em áreas mais afastadas dos centros urbanos possam utilizá-los.

### **Transporte coletivo “sob demanda”**

Quando se trata de cidades com zonas de baixa densidade populacional ou rotas fixas de autocarro com baixa frequência, a viabilidade económica de um transporte público de qualidade pode ser um desafio, nestes casos o uso de formas alternativas de gestão dos transportes, como por exemplo os transportes coletivos mediante procura, podem ser uma solução para reduzir o custo do passageiro transportado por quilómetro rodado.

Usados mais comumente em grandes cidades como serviço complementar ao transporte público regular ou em substituição a rotas de baixa procura, esse modelo usa a tecnologia digital para calcular rotas otimizadas e conectar utentes e motoristas de forma muito semelhante aos aplicativos de transporte individual. Com possibilidade de compra online, marcação de assento, flexibilidade de horário e um veículo confortável (autocarros ou vans), esse modelo tem conseguido captar utilizadores de transportes individuais próprios e de aplicativos, gerando a redução de congestionamentos e contribuindo para um transporte mais sustentável (Associação Nacional das Empresas de Transportes, 2019).

Cabe a cada cidade ou região perceber qual o melhor modelo a ser adotado, de acordo com as necessidades e especificidades locais. Dentre os modelos de transporte coletivo mediante procura já em utilização destacam-se: os sistemas de rotas fixas (com pontos de embarque e desembarque definidos, que só param em pontos selecionados, como adotados em Dubai e São Bernardo do Campo/Brasil), sistemas com flexibilidade total (onde o utente escolhe origem e destino e o sistema

seleciona o veículo mais próximo e a melhor rota, como adotado em Berlim, Chicago e Nova Iorque), sistemas semi-flexíveis (possuem um percurso preestabelecido e aceitam viagens de passageiros próximos, como adotado em Goiânia/Brasil) e sistemas mistos (que funcionam em horários de ponta e tem pontos de origem variáveis pela manhã, com destino fixo e pontos de destino variáveis ao final do dia, com origem fixa, adotado em terminais na grande Paris) (Folha de São Paulo, 2019).

Dentre os desafios observados nesses sistemas estão a adoção do modelo por pessoas idosas e não utilizadoras de aplicativos, e as legislações locais que não acompanharam a evolução dos sistemas de transporte e muitas vezes não permitem novos modelos de concessão.

### **Bicicletas e Trotinetes partilhadas**

Com o aumento da urbanização e tendo em conta os limites espaciais das cidades, promover sistemas de partilha é crucial para garantir o fluxo das pessoas.

Os projetos de partilha de bicicleta e trotinetes tem como objetivo atender percursos menores (micromobilidade) ou complementar trajetos multimodais, e tal qual os transportes coletivos sob demanda, podem ser desenvolvidos em parceiras público-privadas. Além disso, possibilitam um deslocamento sem emissões de GEE ou poluentes atmosféricos e fomentam hábitos mais sustentáveis.

Presentes em diversas cidades, os sistemas permitem que utentes aluguem o veículo em uma determinada estação e possam devolvê-lo na estação mais próxima ao seu destino, sendo todo o processo realizado através do telemóvel. Com custos de aluguer acessíveis, esses modelos de negócio permitem que o utente faça uso do modal sem ter de comprar uma bicicleta/trotinete, nem se preocupar com manutenção ou local seguro para guardá-la. Além disso, permitem que haja uma maior utilização de cada unidade. Com sistemas de gerenciamento avançado e em tempo real, as empresas são capazes de identificar a localização dos veículos, os horários de ponta e de vazio de cada estação, bem como o perfil dos utentes, a necessidade de estações maiores ou menores e a frequência de manutenção (Associação Nacional das Empresas de Transportes, 2019).

### **Transportes coletivos menos poluentes**

Como parte da política de descarbonização das cidades está a transição da frota de autocarros para os modelos elétricos, uma vez que estudos indicam que apesar de atenderem ao conceito de economia circular, os veículos movidos a gás natural renovável também emitem GEE (Ambiente Magazine, 2018). Adicionalmente, deve-se considerar a implementação ou ampliação de modais como os VLT (veículos leves sobre trilhos) ou, em inglês, LRT - Light Rail Transit.

Os VLT são capazes de transportar grande quantidade de pessoas e estão aptos a operar em ambientes urbanos e suburbanos, no tráfego misto ou em vias segregadas, ao nível do solo, subsolo ou em elevados e tem flexibilidade para conectar zonas pedonais, funcionando como alimentadores de sistemas maiores como metros, comboios e barcas. Apesar de não serem neutros em carbono, consomem sete vezes menos energia por passageiro do que os carros e não produzem emissões a nível local (UITP, 2015; UITP América Latina, 2015).

### **Áreas de baixa emissão de carbono (LEZ)**

Zonas de baixa emissão de poluentes ou Low Emission Zones (LEZ, na sigla em inglês) são áreas previamente delimitadas da cidade onde o tráfego automóvel é restrito a veículos movidos por combustíveis não poluentes, nomeadamente veículos elétricos ou que atendam a um determinado limite de emissão de poluentes, o qual é determinado pela autarquia local e podem ser feitas em dias e horários específicos ou de forma permanente.

Essa técnica, bastante difundida em cidades europeias, tem como foco as zonas urbanas onde os níveis de poluição atmosférica ultrapassam os limites estabelecidos pelas agências governamentais de saúde.

Não há barreiras físicas ou cancelas que impeçam o acesso às LEZ. O controle de acesso é feito através de sistemas de câmaras automáticas ou sistemas de etiquetagem veicular consoantes as categorias de emissão, sendo aplicadas multas ou portagens aos veículos que não atendam às especificações preestabelecidas (Navarro, 2018; Souza, 2019).

Em cidades onde tal prática foi adotada, observou-se os seguintes benefícios: significativa redução nas emissões de NOx e material particulado (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>), renovação da frota de veículos circulantes, com aumento da proporção de veículos menos poluentes, aumento no uso de transportes públicos para aceder à zona de baixa emissão e uma redução do tráfego diário (Lopez-Ruiz, Christidis, Demirel, & Kompil, 2013; Navarro, 2018).

Para que haja sucesso na implementação das LEZ, é importante que o projeto seja implementado de forma faseada, garantindo tempo para que a população e as empresas possam se adequar às mudanças.

### **Planos de mobilidade escolar**

Nas últimas décadas houve um significativo aumento no número de crianças que utilizam o carro como meio de transporte entre casa e escola (Souza, 2019), o que tornou as escolas em importantes pontos geradores de tráfego (Rupprecht Consult - Forschung & Beratung GmbH, 2019), impactando

a fluidez do trânsito nas horas de ponta e elevando as concentrações de poluentes atmosféricos em zonas sensíveis (escolas).

Os planos de mobilidade escolar têm como objetivo proporcionar maneiras alternativas e mais sustentáveis de se fazer esse trajeto, permitindo maior autonomia dos alunos, sem abrir mão da segurança. Neles incentiva-se a adoção de medidas como os autocarros escolares, que transportam estudantes de pontos pré-definidos da cidade até à escola e vice-versa, sempre acompanhados de monitores ou professores; a partilha de carros entre encarregados de educação de alunos de uma mesma escola que residam na mesma região; a utilização de modos suaves (pedonal e ciclável) como meios de transporte até as escolas, incluindo os formatos pedonais ou “Peddybus”, onde um monitor ou professor encarrega-se de encontrar os alunos em um ponto pré-determinado da freguesia e os acompanha à pé até à escola, fazendo o processo inverso ao final do dia (Lopez-Ruiz et al., 2013; Souza, 2019).

Para proporcionar maior confiança e garantir maior adesão, é possível associar uma aplicação de telemóvel a este tipo de plano de mobilidade, de forma que as famílias consigam acompanhar em tempo real o trajeto de seus filhos e permita a comunicação entre pais e monitores/professores.

Lopez-Ruiz et al. (2013), em seu estudo, desenvolveu uma metodologia para medir o potencial de redução nas emissões de CO<sub>2</sub> de determinadas intervenções, a partir da subdivisão das cidades conforme suas características (tamanho, densidade, disponibilidade de transporte, etc.). Nele, a adoção de planos de mobilidade personalizados, os quais incluem tanto os planos de mobilidade escolar, quanto os planos de mobilidade para empresas e indústrias obteve um potencial estimado de redução de emissões para o ano de 2030 entre 680 e 852 kton a nível europeu.

### **2.5.2.2. Intervenções voltadas à eficiência energética**

Os combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás) têm sido a principal matriz energética dos países desenvolvidos e não-desenvolvidos. Trata-se de fontes não-renováveis, se considerada a escala temporal humana, e muito poluentes, que afetam a saúde da população e contribuem para o aumento da emissão de GEE na atmosfera. Considerando-se o ritmo de consumo energético e a limitação das fontes conhecidas, o mundo terá suas fontes de combustíveis fósseis extintas até 2050 (Martins, 2012).

Visando diminuir a dependência desses combustíveis e de seus mercados fornecedores, os países têm buscado diversificar suas matrizes energéticas, nomeadamente com a utilização de fontes de energia renováveis e menos poluentes (eólica, hidrelétrica, solar, etc.).

As cidades, apesar de não serem fontes produtoras, estão entre as principais consumidoras da energia produzida em um país, sendo os setores de transportes e edifícios, os maiores consumidores de energia. Portanto, buscar medidas que contribuam para a mudança de padrão de consumo, a melhoria da eficiência energética e conseqüentemente, para a redução da produção de energia, pode ter um grande impacto positivo na sociedade.

### **Iluminação Pública e Passadeiras inteligentes**

Este é um caso típico de intervenção que interrelaciona mobilidade, pessoas e eficiência energética.

Uma das principais queixas da população em não adotar modos suaves de deslocamento é a insegurança em transitar nos períodos de entardecer e noite, seja por não serem capazes de enxergar algum buraco na via, seja pela possibilidade de não serem vistos pelos condutores de automóveis, nomeadamente ao atarvessar. Garantir uma melhor iluminação das vias e das passadeiras pode incentivar a adoção de comportamentos mais sustentáveis. Por outro lado, segundo (“Street and Public Lighting | Energy Rating,” (n.d.), a iluminação pública é a maior fonte de emissão de GEE por parte do governo, sendo responsável por 30 a 60% do total de suas emissões.

De acordo com EDP Distribuição / ISR-UC (2016), cerca de 80% da iluminação em Portugal é feita com lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (VSAP). O uso de lâmpadas LED (*Light Emitting Diode*), em substituição às convencionais, tem inúmeras vantagens, dentre elas o reduzido consumo de energia, uma vida útil muito superior, menor poluição luminosa e o acendimento imediato, permitindo um controlo mais eficiente.



Figura 4 - Iluminação pública com LED e painel solar fotovoltaico  
Fonte: [www.truelite.us/solar-led-street-lights-dubai-usa](http://www.truelite.us/solar-led-street-lights-dubai-usa)

A utilização de modelos LED, combinado a sensores de iluminação que adaptam a intensidade da luz emitida em função da intensidade de iluminação do ambiente, pode trazer um ganho ainda maior. Conforme estudos de Djuretic & Kostic (2018) e Hermoso-Orzáez, Lozano-Miralles, Lopez-Garcia, & Brito (2019) a troca da iluminação pública com tecnologia em vapor de sódio por iluminação LED pode gerar uma redução entre 20% e 50% do consumo energético, a depender das características das lâmpadas de vapor de sódio e das lâmpadas LED utilizadas, podendo haver ainda uma poupança adicional de 20 a 30% quando utilizados sistemas inteligentes de controlo do fluxo luminoso.

A tecnologia LED pode ainda ser combinada com o uso de painéis fotovoltaicos (



Figura 4). Essas soluções racionalizam o consumo e reduzem custos de operação, o que permite melhorar e expandir de forma sustentável as redes de iluminação das cidades.

As denominadas “passadeiras inteligentes” são passadeiras dotadas de um sistema que alerta os condutores quando um peão vai realizar o atravessamento, prevenindo atropelamentos. Esse alerta pode ser feito através da ativação de iluminação superior sobre a passadeira, ativação de iluminação no pavimento, ativação de iluminação das placas indicativas de atravessamento, entre outros, vinculada a sensores de presença ou a botões manuais de atravessamento, conforme pode ser visto na Figura 5. Os sistemas podem ainda ser alimentados por energia eólica ou solar fotovoltaica, aumentando a sustentabilidade do sistema e a economia de energia.

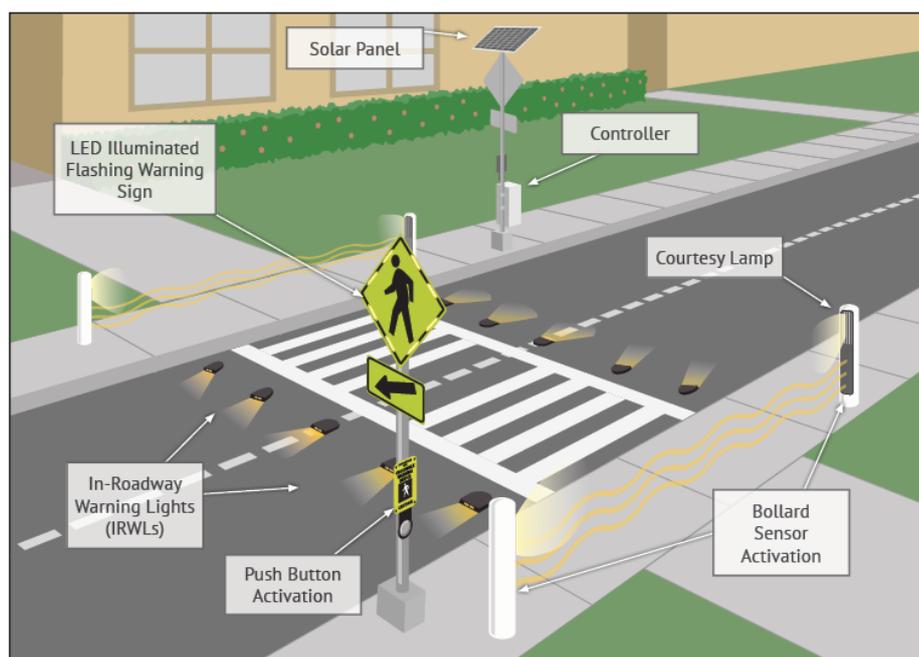


Figura 5 - Exemplo de passareira inteligente

Fonte: "Smart Crosswalk™ In-Roadway Warning Light (IRWL) System," (n.d.)

### **Melhoria da eficiência energética em Edifícios**

Segundo CONCERTO - European Commission (n.d.), os edifícios são o maior setor consumidor de energia do planeta. Na Europa, representam 40% de toda a energia consumida e são responsáveis por um terço das emissões de GEE, o que o transforma em um dos principais setores a serem analisados no processo de descarbonização urbana.

O NZEB (*Nearly Zero Energy Building*) é um conceito de edifício que tem capacidade de ser quase energeticamente autossuficiente, uma vez que produz a maior parte da energia necessária ao seu funcionamento, através da instalação de sistemas de energia renovável como solar térmica, solar fotovoltaica, bombas de calor, e tem em sua conceção o uso de diversos conceitos e tecnologias que garantem um consumo energético reduzido como ventilação natural, sistemas passivos de aquecimento e arrefecimento, iluminação natural, sombreamento de fachadas, entre outros. Esse conceito é suportado pela Diretiva EPBD n.º. 2010/31/EU, e obriga a que todos os edifícios novos na União Europeia até 2020 se enquadrem nesse conceito (Martins, 2012).

Assim como o NZEB, muitas das políticas energéticas propostas para descarbonização tem como foco novos edifícios. No entanto, os edifícios antigos representam a maioria das construções nos países europeus, nos quais é inviável aplicar determinadas técnicas. Atuar apenas nas novas construções não é suficiente para atingir as metas de descarbonização. Por esse motivo é crucial

procurar soluções que congreguem aumento da eficiência, uso de energias renováveis e equilíbrio econômico, as quais podem ser melhor identificadas através de metodologias de apoio à decisão aplicadas a cada caso, com foco no custo-benefício expandido, isto é, que considere também os benefícios e custos obtidos após a recuperação do investimento inicial (Almeida & Ferreira, 2017).

Dentre as medidas a serem avaliadas para implementação em edifícios já construídos estão aquelas que reduzem as trocas de calor com o exterior e a procura por energia para aquecimento, arrefecimento e iluminação, como por exemplo a colocação de isolamento térmico no edifício (em telhados, parte externa ou interna), a troca de janelas e caixilharias, a instalação de sensores de presença, a troca de lâmpadas para os modelos LED e a colocação de painéis fotovoltaicos para captação de energia solar.

### **2.5.2.3. Intervenções em eficiência hídrica nos edifícios**

A tendência de crescimento populacional a nível mundial, aliado à urbanização e a um padrão de consumo não sustentável, gera pressões crescentes sobre os recursos hídricos, com perspetiva de escassez num futuro próximo (Teixeira, 2015).

Combinado a isso, observa-se como consequências das alterações climáticas, o aumento da frequência e intensidade de cheias e secas, a alteração de sua distribuição temporal e espacial, e o aumento do nível dos oceanos, impactando a capacidade de recarga de aquíferos e corpos hídricos superficiais e a qualidade da água (decorrente da intrusão salina em aquíferos costeiros, por exemplo).

Tais fatores demonstram a necessidade e urgência de se promover uma gestão sustentável da água, através do incentivo a adoção de padrões de consumo mais responsáveis, evitando desperdício, e buscando soluções que melhorem a eficiência hídrica e a reutilização da água.

Promover o uso consciente da água nas cidades contribui não somente para garantir a disponibilidade desse recurso para as gerações futuras, como também para a descarbonização das mesmas, uma vez que o tratamento e a distribuição da água limpa e a captação e o tratamento das águas residuais consomem energia, e como já abordado, esta vem maioritariamente de matrizes fósseis, grandes emissoras de GEE.

Em edifícios, as medidas de eficiência hídrica podem ser voltadas à conservação de água, como a instalação de sistemas de identificação de fugas e adoção de torneiras e sanitas com controle de caudal, ou ao aproveitamento de águas pluviais e tratamento e reutilização de águas cinzentas, como nas regas de jardins, lavagem de pavimentos e no uso em sanitas e mictórios de lavatório integrado.

Segundo Teixeira (2015), na Europa ocorre um crescente aumento nas políticas de eficiência energética e hídrica, as quais tem sido combinadas através de tecnologias inovadoras, como os

sistemas de filtragem de águas residuais alimentados com energia renovável e o aproveitamento do potencial de algas presentes nos efluentes para geração de energia. Um estudo do programa Horizonte 2020 (European Commission, 2015), aponta que o uso eficiente da água pode corresponder a uma redução de mais de 50% da procura de energia no abastecimento, tratamento e transporte da água.

#### **2.5.2.4. Intervenções voltadas às pessoas**

##### **Mudança de Perceção e Comportamento**

Tecnologia e políticas públicas não geram mudanças, pessoas sim. Para que as mudanças pretendidas e as ações implementadas tenham sucesso e obtenham efeitos de longo prazo é necessário que a população queira a mudança e seja coautora da mesma (Rupprecht Consult - Forschung & Beratung GmbH, 2019). Nesse sentido, garantir que as pessoas sejam ouvidas e que possam identificar problemas e propor soluções, é fundamental para se ter adesão ao projeto, contrariando a tendência de se assumir previamente o que a população quer ou pensa.

As ações a serem realizadas devem envolver atividades e campanhas que:

- Promovam uma melhor perceção dos efeitos causados pelos GEE, bem como dos benefícios ao ambiente, à saúde e à qualidade de vida da população que escolhas individuais e mudanças de hábitos podem causar;
- Mostrem a importância que a adoção de medidas de acalmia e de restrição de tráfego automóvel geram na segurança dos peões e ciclistas e na qualidade do ar local;
- Dado o aumento da esperança média de vida da população e a necessidade de inclusão, tenham como alvo a população mais velha e as pessoas com mobilidade reduzida, para que os mesmos usufruam do espaço público durante mais tempo e até mais tarde, e aumentem sua autonomia;
- Incentivem o uso de bicicletas como modo de transporte e ensinem as regras básicas de segurança rodoviária e circulação ciclável, nomeadamente entre crianças, jovens e adultos, garantido a utilização e o retorno dos investimentos nestas redes;
- Envolvam sempre que possível o público escolar, fomentando desde cedo um comportamento cívico e sustentável na nova geração de residentes; e
- Criem um canal de comunicação entre governo local e a população, preferencialmente aplicações para telemóveis e *tablets* que permitam a fácil transmissão de informações, bem como a realização de inquéritos e divulgação de atividades.

Sempre que a participação popular for requisitada, a comunicação do processo e da agenda deve ser clara e objetiva, de forma que a mesma possa perceber o que esperar do evento, a duração do mesmo, assim como a importância de sua participação no processo (Rupprecht Consult - Forschung & Beratung GmbH, 2019).

### **Incentivo à Economia Circular**

Economia circular é um conceito estratégico que objetiva a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia, se contrapondo ao conceito de fim-de-vida da economia linear (Ministério do Ambiente, n.d.). Este conceito inspira-se na dinâmica dos ecossistemas naturais, que gerem os recursos a longo prazo, num processo de reabsorção e reciclagem.

Ao buscar novas formas de utilizar materiais que seriam descartados ou dar preferência àqueles que podem ser reciclados e reutilizados, ou ainda àqueles que geram menos impacto ao meio ambiente, gera-se não só uma menor procura sobre os recursos do planeta, como também uma significativa redução de emissão de CO<sub>2</sub>, seja pela não necessidade de se produzir um novo produto, seja pelos gases emitidos em sua decomposição ou no tratamento dos resíduos gerados.

Por ser um modelo cíclico, este exige esforços de todas as partes: quer das empresas, na busca pela viabilidade técnica e econômica do processo, quer da população, através da procura e percepção de valor deste tipo de produto, quer dos governos, com a promoção de políticas de incentivo à economia circular.

### **Quantificação dos benefícios**

As ações voltadas às pessoas em projetos de descarbonização são capazes de promover conscientização e mudanças de comportamento, atuando como catalisadores para as demais intervenções realizadas (Diez et al., 2018; Lopez-Ruiz et al., 2013; Souza, 2019).

Os resultados de mudança de comportamento podem ser avaliados através de inquéritos às pessoas e nos indicadores das demais intervenções, como por exemplo na redução de congestionamentos em determinada área onde foi implementado um sistema de transporte escolar, numa maior procura por bicicletas e trotinetes ou ainda na redução da necessidade de água tratada em moradias e edifícios em que as pessoas tenham optado por instalar sistemas de captação de águas pluviais.

### **2.5.3. Intervenções para captura e armazenamento de gás carbónico**

O combate às alterações climáticas passa não somente pela redução das emissões de GEE, mas também pela compensação daquelas emissões que são inevitáveis e para as quais ainda não há alternativas viáveis de redução.

Conforme sustentam Sandalow, Friedmann, McCormick, & McCoy (2018), as ações de redução de GEE tem sido implementadas a um ritmo mais lento do que o necessário para se atingir a tempo a meta do IPCC. Além disso, mesmo que esses esforços sejam bem-sucedidos, limitar o aquecimento global a 1,5° C acima dos níveis pré-industriais exigirá a remoção de gás carbónico da atmosfera, o qual poderá ser obtido através de técnicas de sequestro de carbono.

#### **Sequestro florestal de Carbono**

De entre as ações humanas que promovem a captura do gás carbónico da atmosfera de forma natural, as mais conhecidas são aquelas que envolvem o plantio de árvores ou reflorestamento de áreas degradadas, uma vez que as árvores em crescimento necessitam de uma grande quantidade de carbono para se desenvolver e para isso removem CO<sub>2</sub> da atmosfera, da água e do solo, transformando-o em biomassa, através da fotossíntese. Além disso, as árvores ajudam o solo a capturar quantidades significativas de carbono, os quais estocam em média três vezes mais carbono orgânico do que a vegetação e duas vezes mais do que a atmosfera (Batjes & Sombroek, 1997).

De acordo com Bastin et al. (2019), a recuperação e preservação de áreas com cobertura vegetal permanece entre as estratégias mais eficazes no combate às alterações climáticas. Excluindo-se as árvores existentes, as áreas agrícolas e urbanas no mundo, há espaço para 0,9 bilhões de hectares de cobertura vegetal, considerando-se as condições climáticas atuais do planeta, com potencial para armazenar 205 Gton de Carbono em áreas naturalmente capazes de suportar florestas e outros tipos de arborização, o equivalente a apagar quase 100 anos de emissões de gás carbônico.

No entanto, Anderegg et al. (2020) argumentam que o tempo necessário para o crescimento e amadurecimento de uma floresta, aliado a fatores adversos como incêndios, secas, redução de insetos herbívoros, fungos patogênicos, dentre outras ameaças potencializadas pelas alterações climáticas, fazem com que o sequestro florestal como estratégia de mitigação das alterações climáticas deva ser vista como uma dentre várias ações a serem implementadas para solucionar o problema, e não como uma solução única.

## **Sequestro geológico de Carbono**

O sequestro geológico de Carbono ou em inglês CCS (*Carbon Capture and Storage*) é realizado através de técnicas que capturam, transportam e injetam CO<sub>2</sub> em campos de petróleo em fim de exploração, aquíferos salinos ou camadas de carvão, para que se mantenham armazenados em camadas geológicas (geosfera) por milhares de anos, da mesma forma que o petróleo e o gás natural são naturalmente armazenados, removendo-os da biosfera.

Esta técnica já vem sendo utilizada por indústrias que produzem GEE e precisam ou desejam atingir as metas de descarbonização. De acordo com Global CCS Institute (2019), em 2019 já havia no mundo 19 instalações industriais de CCS de larga escala em operação e outras 32 de larga escala em início de operação ou em fase avançada de construção, com capacidade para capturar e armazenar permanentemente 40 Mton. de CO<sub>2</sub> por ano, além de perspectivas de incremento no número de instalações industriais de CCS para os próximos anos.

Apesar de ainda haver incertezas sobre o comportamento a longo prazo do gás carbônico no subsolo, estudos como os de Alcalde et al. (2018) ressaltam a viabilidade e a segurança da técnica, bem como a sua importância no combate às alterações climáticas.

Em fase um pouco menos avançada estão as técnicas de CCUS (*Carbon Capture, Utilization and Storage*), as quais utilizam o CO<sub>2</sub> capturado como insumo na produção de betão e agregados, através do processo de mineralização, como o realizado na Islândia, e também na produção de polímeros e combustíveis sintéticos, cuja pegada carbônica é bastante reduzida (Pedrola, Saz-Carranza, & Friedmann, 2020).

Da combinação do sequestro florestal e geológico de carbono resulta ainda a técnica denominada BECCS (*Biomass with Carbon Capture and Storage*), que consiste no plantio de árvores (com consequente captura de CO<sub>2</sub>), e no posterior corte das mesmas para utilização de sua biomassa como energia por indústrias, que irão posteriormente captar o CO<sub>2</sub> produzido em seus processos, e armazená-los em camadas geológicas, para que não atinjam a atmosfera.

## **Sequestro Direto de Carbono Atmosférico**

Apesar das concentrações de carbono na atmosfera serem menores do que aquelas resultantes de processos industriais, a tecnologia DAC (Direct Air Capture Technology) ou captura direta do ar tem como diferencial permitir a captura do dióxido de carbono que foi emitido no passado, mas que ainda está presente na atmosfera (Carbon Engineering Ltd., n.d.).

Essa tecnologia, que vem sendo desenvolvida e aprimorada nos últimos 10 anos por empresas e centros de investigação, incorpora os conceitos e benefícios anteriormente apresentados pelas

técnicas de CCS e CCUS e combina outras tecnologias, trazendo novas possibilidades de neutralização de atividades que atualmente são grandes geradoras de CO<sub>2</sub>.

De forma simplificada, numa instalação industrial com tecnologia DAC, o ar atmosférico entra no sistema e após um processo químico (utilizando solventes líquidos ou sorventes sólidos), obtém-se dois subprodutos: ar com baixas concentrações de CO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> para utilização como insumo de novos produtos (similar ao CCUS) ou para injeção e armazenamento em aquífero (similar ao CCS). Esse processo pode ser feito também por criogenia ou utilizando membranas (Sandalow et al., 2018).

Apesar dos altos custos envolvidos no processo e da grande quantidade de energia necessária, a técnica já começa a ser comercialmente viável. A primeira planta comercial de tecnologia DAC, instalada na Suíça, tem capacidade de sequestro de carbono equivalente a cerca de 36 mil árvores, com pegada carbônica equivalente a uma árvore. Em meados de 2019, o governo do Canadá anunciou o investimento de CAD\$ 25 milhões em uma empresa nacional detentora da tecnologia para instalação de uma planta capaz de sequestrar 1 milhão de toneladas de carbono por ano. Além de apoiar a comercialização de tecnologias de transição para uma economia de baixo carbono, o investimento permitirá ao país outros meios de atingir suas metas de redução carbônica (Carbon Engineering Ltd., n.d.). Informações mais detalhadas de projetos utilizando tecnologia DAC podem ser vistos em (Pedrola et al., 2020; Sandalow et al., 2018).

De entre as soluções em desenvolvimento está a neutralização para o transporte aéreo. Conforme apresentado na Figura 6, a quantidade de CO<sub>2</sub> lançado para a atmosfera devido à utilização de combustíveis fósseis durante as viagens aéreas é capturado pelas plantas industriais com tecnologia DAC e posteriormente injetado de forma permanente em reservatórios geológicos. O CO<sub>2</sub> emitido pela produção e refino dos combustíveis utilizados também é capturado e injetado no reservatório.

Outra solução em destaque é a produção de combustíveis sintéticos a partir do CO<sub>2</sub> capturado diretamente da atmosfera. A depender da fonte de energia renovável a ser empregada na produção do combustível e alimentação da planta DAC, o processo final pode ser neutro, de baixa emissão ou até mesmo de emissão negativa.

Apesar do enorme potencial para o combate às alterações climáticas, de entre as técnicas disponíveis esta ainda é uma das mais caras. Para que possa ter redução de custos e se tornar competitiva, é necessário ganho de escala, políticas de incentivo e regulamentação do setor, um desafio comum a qualquer nova tecnologia.

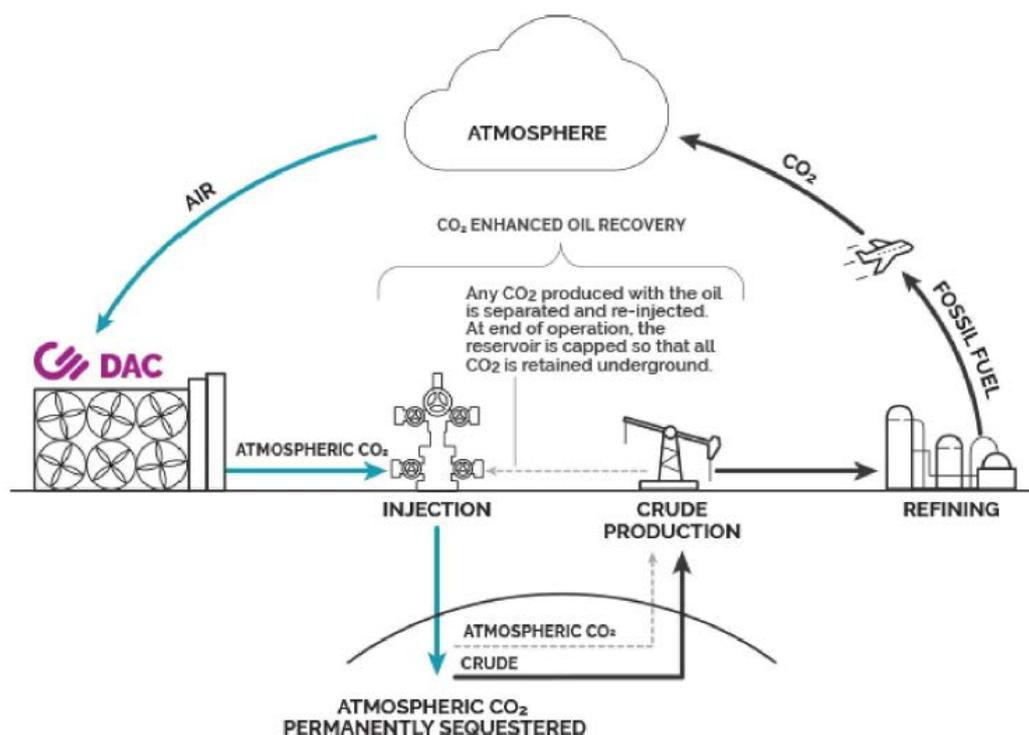


Figura 6 - Exemplo de neutralização do transporte aéreo  
 Fonte: Carbon Engineering Ltd. ( n.d.)

### **Sequestro de carbono em áreas urbanas**

No que se refere às cidades, as maiores oportunidades de sequestro de carbono parecem estar no aumento das áreas verdes, no incentivo à adoção de reservas particulares por parte dos cidadãos, bem como no incentivo ao uso de materiais de origem vegetal na construção civil.

As áreas verdes em zonas urbanas englobam não somente parques e florestas urbanas, mas também elementos menores como jardins, telhados verdes, hortas comunitárias, corredores verdes, entre outros, os quais contribuem de forma efetiva como sequestradoras naturais de gás carbônico (Chen, 2015).

Contudo, Strohbach, Arnold, & Haase (2012) destacam a influência do design e da manutenção desses espaços verdes na capacidade de sequestro de CO<sub>2</sub>, uma vez que o uso de equipamentos motorizados e uma alta mortalidade de árvores pode comprometer os ganhos obtidos, e por tal motivo um plano de manutenção deve ser implementado.

Além de capturar e armazenar CO<sub>2</sub>, os parques e florestas urbanas, proporcionam importantes benefícios e serviços às cidades, tais como: (Chen, 2015; Sá, 2013)

- Recreação - oferecem espaços de lazer e recreação à população;
- Regulação do Clima Local - reduzem os efeitos das ilhas de calor geradas nas zonas urbanas;

- Regulação do Ciclo Hídrico - auxiliam na regulação hídrica das cidades, ao permitir que parte da chuva infiltre no solo, reabasteça os lençóis freáticos e reduza o volume de *runoff* (escoamento superficial), diminuindo a ocorrência de alagamentos. Se localizadas próximas a rios e córregos, auxiliam ainda na proteção desses corpos hídricos;
- Diversidade biológica - Contribuem para a preservação da fauna e a flora em meios urbanos, permitindo sua sobrevivência e maior biodiversidade, nomeadamente se houver conexão entre áreas (corredores verdes);
- Geração de empregos – atividades como restauração e aluguer de bicicletas são exemplos de atividades económicas que podem ser exploradas ou concessionadas.

No entanto, em grandes cidades, encontrar áreas disponíveis para reflorestamento e preservar aquelas que estão em áreas privadas é um grande desafio para as autarquias, principalmente frente à pressão da expansão imobiliária. Nesse sentido, promover iniciativas e políticas públicas que incentivem a preservação e o desenvolvimento das áreas remanescentes é uma mais-valia para as cidades.

### **Reservas particulares**

Na cidade de Curitiba (Brasil), um projeto tem tido êxito nesse sentido. Reconhecida pela OMS como uma das 10 cidades mais sustentáveis do planeta, atualmente mais de 75% de todas as áreas verdes da cidade são reservas particulares, criadas de forma voluntária por proprietários que desejam a proteção do património natural. Denominadas Reservas Particulares do Património Natural Municipal (RPPNM) estas reservas promovem a preservação da mata nativa e de corpos hídricos, além de serem refúgios para insetos, animais e aves em uma cidade com quase 2 milhões de habitantes. Se cumpridos os requisitos da lei municipal, os proprietários podem residir na área e tem como benefício a isenção de alguns impostos sobre o terreno. Com o objetivo de cuidar das reservas, incentivar outros proprietários e também auxiliar os atuais participantes, foi criada uma Associação Sócio Ambiental denominada (APAVE), composta por proprietários e representantes do poder público (Grise, Biondi, & Araki, 2016; Rede Globo, 2015).

Atualmente o projeto conta com 31 reservas que protegem mais de 155 mil m<sup>2</sup> de mata nativa em área urbana, incluindo municípios da Região Metropolitana de Curitiba, o que beneficia ainda mais a qualidade de vida em Curitiba, uma vez que os municípios vizinhos abrigam os principais mananciais que abastecem a cidade.

## **Uso de materiais de origem vegetal na construção civil**

O incentivo ao uso de materiais reciclados na construção civil é uma das maneiras encontradas para reduzir o impacto que este setor gera no ambiente, dado a grande quantidade de energia e de insumos necessários para o desenvolvimento da atividade, bem como a significativa quantidade de resíduos produzidos ao final do processo, sendo por isso um setor gerador de muitas emissões de CO<sub>2</sub>.

A utilização de materiais de origem vegetal no fabrico de componentes construtivos, como a utilização de fibras naturais no revestimento térmico e acústico de casas e edifícios, pode representar um duplo benefício para o ambiente.

Um exemplo dessa utilização é a cortiça, um material natural, obtido a partir da extração da casca dos sobreiros (*Quercus suber*), espécie nativa da Península Ibérica e norte de África, a qual se autorregenera a cada 9 anos, permitindo novo descortiçamento. Assim como os troncos das árvores, a cortiça também é resultado da transformação de CO<sub>2</sub> atmosférico em biomassa.

Sua utilização na indústria abrange os mais diversos setores, dado suas propriedades de isolamento térmico e acústico, resistência ao fogo e a altas temperaturas, extremamente leve e flutuante, impermeável a líquidos e gases, dentre outras características, sendo 100% reciclável.

Ao pensar num processo regional, essa multifuncionalidade da cortiça pode contribuir efetivamente no processo de descarbonização, uma vez que o cultivo das florestas de sobreiros (área de montado) aumenta a captação de CO<sub>2</sub>, e a utilização da cortiça como revestimento térmico em edifícios reduz as emissões para aquecimento e refrigeração, contribuindo duas vezes para a redução dos GEE (Spampinato et al., 2019).

Ao centrar o olhar no contexto Português, observa-se que o país é responsável por 55% da produção mundial de cortiça (Amorim Cork Composites, n.d.) e que o sobreiro é uma espécie nativa, o que permite considerar que o manejo dessa espécie e a utilização de seus produtos nas cidades, poderiam ser incluídos em projetos governamentais de combate às mudanças climáticas, seja a nível regional ou nacional.

### 3. Métodos multicritério de apoio à decisão

Tomar uma decisão é escolher entre alternativas. Tanto nos sectores públicos, quanto nos privados os agentes decisores confrontam-se frequentemente com a difícil tarefa de tomar decisões complexas, nas quais é necessário levar em consideração diferentes fatores e cujos resultados afetam de forma significativa um ou mais atores envolvidos. Nesse sentido, os processos de análise de decisão têm como principal objetivo proporcionar uma visão holística e ajudar a estruturar e simplificar a tarefa de tomar uma decisão complexa.

O processo de tomada de decisão envolve as seguintes etapas: definição dos objetivos, identificação das opções para se atingir o objetivo, identificação dos critérios utilizados para comparar opções, análise das opções, escolha e avaliação do resultado (*feedback*) (Dodgson, Spackman, Pearman, & Phillips, 2009).

De entre os processos de análise de decisão, estão as técnicas de análise multicritério, as quais segundo Jannuzzi, Miranda, & Silva (2009), são o intervalo que separa gradualmente as abordagens puramente exploratórias e intuitivas de tomada de decisão, como *brainstorming* e grupos de discussão, e modelos quantitativos rigidamente estruturados como as Pesquisas Operacionais, que visam obter um resultado ótimo para um objetivo específico. Nas análises multicritério, como não é possível buscar a solução ótima, visa-se aquela mais adequada ao conjunto, abordando-se aspetos qualitativos e quantitativos que buscam uma solução compromissada frente aos vários critérios e pontos de vista a serem levados em consideração. Essa técnica é amplamente utilizada em áreas como gestão governamental, negócios, e também medicina, como por exemplo na escolha do tratamento mais adequado a um determinado paciente.

Conforme defende Ramos & Mendes (2001), a análise multicritério é uma interessante ferramenta de avaliação de alternativas quando se exploram diversas hipóteses de combinação de critérios no sentido de desenvolver cenários de avaliação. Nela, está implícita a avaliação de diferentes aspetos que contribuem a favor ou contra uma decisão, para além disso, a forma como um critério pode compensar outro também tem grande importância no resultado obtido.

#### 3.1. Utilização de metodologias multicritério em cidades

Quando se trata de projetos envolvendo a esfera pública, é de grande importância a transparência e a objetividade nos critérios de tomada de decisão, principalmente para justificar decisões e pautas em situações em que as escolhas incluem critérios técnicos objetivos, e também juízos de natureza política e subjetiva dos gestores públicos envolvidos. Estes últimos devem sempre ser mediados pelo

conhecimento, valores e apostas estratégicas dos gestores. Para isso, o uso de sistemas como o de elaboração de diagnósticos e ferramentas de apoio à decisão têm sido cada vez mais utilizados para auxiliar a tomada de decisão e a aplicação de recursos públicos, seja em processos de escolha de ações prioritárias a serem empreendidas dentre as diversas necessidades de uma região, para o monitoramento de programas governamentais, ou ainda para a avaliação de políticas públicas (Jannuzzi et al., 2009).

No Reino Unido, desde 2009 o Ministério das Comunidades e Governos Locais disponibiliza um manual de utilização de técnicas de análise multicritério (Dodgson et al., 2009) para auxiliar os funcionários do governo na tomada de decisões frente a situações complexas, como definição de políticas públicas, decisões com implicações ambientais, entre outras. Este guia expõe como a análise multicritério, através da utilização de pontuação e ponderação, pode auxiliar a combinação de critérios monetários e não-monetários para avaliar alternativas.

São várias as técnicas de avaliação multicritério existentes (Dodgson et al., 2009; Løken, 2007; Mendes, 2000), as quais de forma geral diferem na forma como combinam e pesam os dados avaliados. Conforme afirma Dodgson et al. (2009), métodos multicritério de apoio à decisão (cuja sigla em inglês, MCDA, será utilizada daqui por diante) ajudam na dificuldade natural que nós, seres humanos, temos em lidar com uma quantidade grande de dados complexos de maneira consistente. Cabe ressaltar que os MCDA não substituem as análises de custo benefício em termos monetários, mas as complementam. Importa dizer que esses métodos não são autônomos (Løken, 2007), nem estáticos, e que a atribuição de pesos a cada indicador ou, por assim dizer, o julgamento feito pelo utilizador do modelo ao atribuir pesos, tem impacto decisivo no resultado final obtido, motivo pelo qual o utilizador deve ter sempre conhecimento prévio do tema a ser avaliado.

No que compete ao contexto urbano, os MCDA são também importantes ferramentas para avaliar a qualidade do ambiente urbano e criar modelos para tal, seja na definição dos critérios para avaliação do conceito de qualidade de vida e sua comparação entre cidades, um tema de relevância para pessoas, empresas e governos (Mendes, 2000); no monitoramento da qualidade do ar em termos de poluição atmosférica e sonora (Silva, 2007), o que impacta diretamente a saúde pública e as qualidade de vida; na avaliação da sustentabilidade de um edifício (Bragrança & Mateus, 2019), tendo em consideração o ciclo de vida da construção; ou ainda na avaliação da sustentabilidade urbana (Ali-Toudert & Ji, 2017).

### **3.2. Definição da metodologia e dos critérios de avaliação**

A metodologia a ser utilizada numa avaliação multicritério depende do tipo de problema em análise, do contexto do estudo, dos dados e recursos disponíveis e do tipo de resposta a que se quer chegar, por exemplo, uma escolha ou uma classificação.

Nela, estabelecem-se dimensões a serem avaliadas e utilizam-se indicadores que permitem transformar conceitos abstratos como por exemplo “desenvolvimento económico” ou “pobreza” em medidas que podem ser recolhidas, quantificadas e por fim analisadas.

Esses indicadores, conforme afirma Ramos (2000), podem ser de dois tipos: exclusão ou fatores. Os indicadores de exclusão são aqueles que limitam as alternativas em consideração numa análise, e que podem ser avaliados de forma binária com “não” (0) ou “sim” (1). Já os indicadores do tipo fator são aqueles que aumentam ou diminuem a propensão de uma alternativa ao objetivo em causa, e, portanto, podem ser medidos dentro de uma escala gradual entre 0 e 1.

Tanto para as instituições de investigação, quanto para o mercado, o desenvolvimento de métodos de avaliação e das respetivas ferramentas é um desafio, sendo a principal questão em causa, a escolha de indicadores e pesos.

Bragrança & Mateus (2019) destacam a dificuldade de levar em consideração as diferentes prioridades e requisitos dos atores envolvidos, muitas vezes conflitantes. Ramos & Mendes (2001) ressaltam ainda a preocupação que os agentes decisores expressam com o risco de se tomar uma decisão demasiadamente conservadora ou arriscada a partir de uma escolha de critérios a serem avaliados (mais positivos, mais negativos, medianos). Para tal sugerem que para determinadas decisões, os critérios sejam organizados em grupos e por níveis de análise, e posteriormente combinados através da atribuição de pesos.

### **3.3. Definição de pesos para os indicadores**

Nem sempre os indicadores possuem a mesma importância dentro de uma decisão ou de um índice de avaliação. Para permitir quantificar o impacto de cada indicador é necessário atribuir pesos a cada um dos elementos, de acordo com a sua relevância para o todo. Apesar de não haver consenso sobre a melhor metodologia para a atribuição de pesos (Mendes, 2000), existem vários métodos disponíveis na literatura, designadamente os baseados em escala de pontos, métodos baseados em distribuição de pontos, comparação de critérios par-a-par. Maiores explicações sobre métodos para pesar indicadores podem ser encontradas em (Voogd, 1982).

### 3.4. Normalização de indicadores

Os indicadores em geral são medidos em escalas diferentes e não comparáveis entre si. Para que seja possível agregá-los, faz-se necessário definir uma escala de normalização.

De forma geral, os processos de normalização utilizam valores de máximo e mínimo para definição de uma escala (Voogd, 1982), sendo a escala linear, o mais simples deles. Nela,  $R_i$  é o valor a ser normalizado,  $R_{min}$  e  $R_{max}$  são respetivamente os valores mínimos e máximos da escala, e  $X_i$  é o resultado da normalização.

$$x_i = \frac{(R_i - R_{min})}{(R_{max} - R_{min})} * \text{Intervalo normalizado}$$

*Equação 3-1*

Quando há uma quantidade suficiente de dados que permita a definição de uma média e de um desvio padrão que faça sentido, um outro método de normalização bastante utilizado é o Z-score. Neste,  $R_i$  é o valor a ser normalizado,  $\mu[R]$  é a média de todos os valores a serem considerados e  $\sigma[R]$  é o respetivo desvio padrão. A variável  $\alpha$  assume o valor +1 quando os maiores valores do indicador  $i$  contribuem positivamente para o objetivo em causa, e -1, quando os maiores valores do indicador  $i$  contribuem negativamente para o objetivo em causa.

$$Zscore = \alpha \frac{R_i - \mu[R]}{\sigma[R]}$$

*Equação 3-2*

Assim sendo, o resultado do Zscore é o número de desvios padrão que o resultado daquele indicador está acima ou abaixo da média geral, considerando todas as alternativas em avaliação (Mendes, 2000).

Existem ainda outros métodos de normalização, que utilizam a lógica *fuzzy* ou lógica difusa e cujas funções são apresentadas na Figura 7.

Essas funções, diferentemente da escala linear (**Equação 3-1**), regem conjuntos difusos onde não há limites nítidos; ou seja, a transição entre não membros e membros de um conjunto é gradual (Zadeh, 1965), mas sempre limitada por pontos máximo e mínimo (expressos pelos pontos a e b), também denominados pontos de controle.

Numa variação positiva de scores e objetivo, o ponto de mínimo é aquele a partir do qual os valores de score do critério começam a contribuir para o objetivo, e o valor máximo, é o ponto a partir do qual scores mais elevados não trazem contribuição adicional para o objetivo. No entanto, quando

uma variação positiva dos scores corresponde a uma variação negativa do objetivo, a curva é decrescente e a equação escolhida deverá ser ajustada.

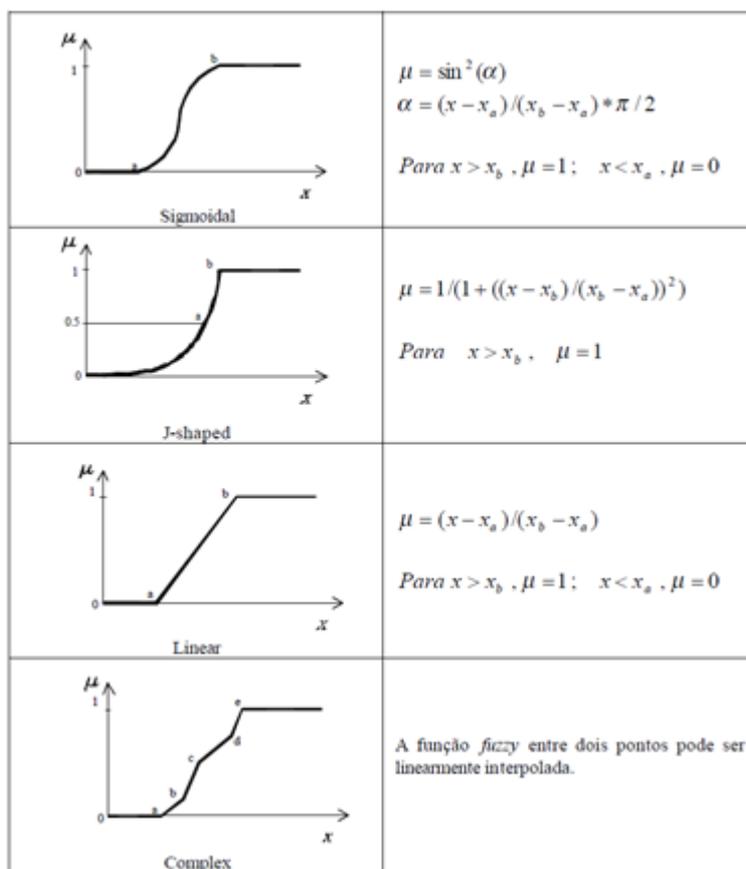


Figura 7 - Funções Fuzzy  
 Fonte: Adaptado de Mendes (2000)

O processo de normalização é na sua essência idêntico ao processo de *fuzzyfication*. Neste processo um conjunto de valores expressos numa dada escala é convertido em outro comparável, expresso numa escala normalizada (por exemplo de 0 a 1). O resultado obtido expressa um grau de relativa pertença que varia desde 0,0 até 1,0, indicando um crescimento contínuo desde a não-pertença até a pertença total (Mendes, 2000).

A escolha da função a ser utilizada deve ser feita de acordo com a natureza do indicador, sendo geralmente mais utilizadas as funções linear e sigmoidal. Fundamental também é a escolha dos pontos de controle, bem como entender que eles significam.

### 3.5. Combinação de indicadores

Uma vez normalizados, os indicadores deverão ser agrupados a partir de uma regra de decisão a fim de se tornarem um único critério de avaliação.

Para tal, a literatura disponibiliza diversos métodos de combinação de indicadores em escala contínua, dentre eles: o WLC (*Weighted Linear Combination*) e o OWA (*Ordered Weighted Average*).

### **Método WLC**

O método WLC (Voogd, 1982) combina indicadores do tipo fator (expressos em escala contínua) a partir da média ponderada, dada pela **Equação 3-3**, onde  $S$  é a nota final do critério,  $w_i$  é o peso do indicador e  $x_i$  é o valor do indicador normalizado. Como o somatório dos pesos é igual a 1, a escala usada na nota final é a mesma dos indicadores normalizados.

$$S = \sum_i w_i x_i$$

*Equação 3-3*

Quando, além de indicadores do tipo fator, há presença de indicadores de exclusão (expressos em escala binária), o processo de combinação pode ser feito utilizando-se a **Equação 3-4**, na qual multiplica-se o somatório pesado dos indicadores do tipo fator pelo produtório dos indicadores de exclusão. Nela, os indicadores de exclusão ( $y_j$ ) assumem valor 0 ou 1.

$$S = \sum_i w_i x_i x \prod_j y_j$$

*Equação 3-4*

O método WLC permite fazer a compensação (*trade-off*) entre indicadores do tipo fator, de forma que um indicador com pontuação baixa pode ser compensado pela presença de vários indicadores com altas pontuações.

### **Método OWA**

Com o método OWA (Ordered Weighted Average), Yager (1988) introduziu uma nova perspectiva de análise na forma de combinar indicadores. Para além da utilização de pesos na combinação de indicadores (como proposto no método WLC), esta técnica inclui mais uma etapa no processo, ao atribuir outro conjunto de pesos ao resultado da primeira etapa, os quais são denominados *order weights*.

Após a aplicação da ponderação aos indicadores originais (método WLC), os resultados obtidos nessa combinação são ordenados de forma crescente. Ao indicador que obteve menor nota é atribuído o primeiro peso (*order weight*), ao segundo é atribuído o segundo peso, e assim sucessivamente.

Dessa forma, os indicadores são pesados com base na ordem das notas obtidas na primeira ponderação, do menor para o maior, independente dos indicadores em análise.

A partir da variação de *order weights*, cuja soma deve sempre ser igual a 1, o OWA permite uma quantidade infinita de soluções de combinação.

Como apontado por Eastman, Jiang, & Toledano (1998), num processo de avaliação que envolva a combinação de três indicadores, a combinação [1; 0; 0] distribuirá todo o peso para o indicador de menor nota, produzindo uma solução pessimista ou de menor risco (equivalente ao operador lógico AND). Por outro lado, a combinação [0; 0; 1] distribuirá todo o peso para o indicador de maior nota, levando a uma solução de maior risco ou otimista (equivalente ao operador lógico OR). Se a distribuição de pesos for feita de forma equitativa [0,33; 0,33; 0,33] tem-se um risco neutro e, portanto, um extremo de *trade-off* (equivalente ao operador WLC). Observa-se que nas soluções pessimista e otimista não há possibilidade de compensação de um indicador pelo outro, ou seja, nelas o *trade-off* é nulo.

Para facilitar a compreensão, é apresentado um exemplo abaixo:

Etapa 1: atribui-se pesos para combinar indicadores.

Indicador	Peso atribuído	Nota normalizada	Avaliação
A	25%	90	22,5
B	45%	40	18
C	30%	70	21

Etapa 2: a partir da ordenação dos indicadores de forma crescente à sua avaliação (B-C- A) atribui-se os pesos (*order weights*).

Indicador	Pesos ordenados	Avaliação (Etapa 1)	Avaliação (Etapa 2)	Nota Final (OWA)
A	1	18	18	18 (avaliação pessimista)
C	0	21	0	
B	0	22,5	0	
A	0	18	0	22,5 (avaliação otimista)
C	0	21	0	
B	1	22,5	22,5	
A	0,333	18	5,99	20,5 ( <i>trade-off</i> máximo)
C	0,333	21	6,99	
B	0,333	22,5	7,49	

Observa-se que o terceiro caso, *trade-off* é equivalente ao método WLC. Na verdade, o método WLC é um caso particular do método OWA.

Obviamente as possibilidades de combinação de indicadores não estão limitadas a esses três casos. Mas, segundo (Eastman et al., 1998), são essas combinações: menor risco (AND), *trade-off* (WLC) e maior risco (OR), que delimitam o espaço estratégico de decisão, o qual é apresentado na Figura 8, na parte hachurada.

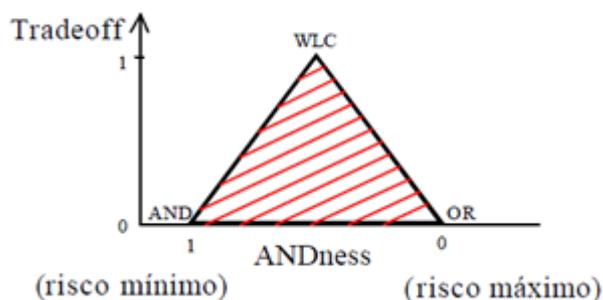


Figura 8 - Espaço estratégico de decisão

É possível medir o risco de uma decisão através da variável ANDness, dada pela **Equação 3-5** (Eastman et al., 1998):

$$ANDness = \frac{1}{n-1} \sum_i ((n-i)O_i)$$

Equação 3-5

Já o *trade-off* de uma decisão, definido pelo grau de homogeneidade da distribuição dos *order weights*, pode ser obtido pela **Equação 3-6** (Eastman et al., 1998):

$$Trade\_off = 1 - \sqrt{\frac{n \sum (O_i - 1/n)^2}{n-1}}$$

Equação 3-6

Em ambas as equações,  $n$  é o número total de indicadores,  $i$  é a ordem do indicador e  $O_i$  é o *order weight* para o indicador de ordem  $i$ .

A Tabela 2 apresenta de forma resumida as soluções obtidas nos três pontos principais do espaço estratégico de decisão.

Tabela 2 - Espectro estratégico de decisão OWA

Conjunto de order weights	ANDness	Tradeoff	Solução produzida
[1; 0; 0]	1	0	Risco mínimo (pessimista); Trade-off nulo (AND)
[0; 0; 1]	0	0	Risco máximo (otimista); Trade-off nulo (OR)
[0,33; 0,33; 0,33]	0,5	1	Risco neutro; Trade-off máximo (WLC)

Fonte: Adaptado de Mendes (2000)

## 4. Metodologia

O laboratório vivo criado no âmbito do projeto *Braga Urban Innovation Laboratory Demonstrator* (BUILD), e que será estudo de caso nessa dissertação, implementou diversas medidas que visavam promover a descarbonização. Após o desenvolvimento dessas intervenções e a obtenção de dados, importa saber se o conjunto de intervenções atingiu o objetivo esperado e quais delas tem potencial para ser escalonadas, isto é, alargadas a outras zonas do concelho de Braga.

O método de avaliação que será desenvolvido neste capítulo não tem como objetivo apresentar uma resposta final, mas ser uma ferramenta de apoio à decisão aos gestores do projeto e da cidade.

Dessa forma, serão utilizados os dados que foram produzidos pelos diferentes centros de investigação que participaram do projeto, sabendo-se de antemão que nem todas as intervenções planeadas já se encontravam implementadas no momento da presente dissertação, e que parte dos dados desejados não estão disponíveis ou não estão no formato ideal, visto que não foram gerados com o intuito de avaliar a descarbonização. Isto torna o estudo de caso mais interessante por ser um reflexo do contexto real (como pretende ser um laboratório vivo), e não do contexto de um laboratório convencional (onde o cenário é controlado).

Propor uma simples soma dos dados de descarbonização obtidos pelo conjunto das intervenções implementadas não permitiria concluir se o projeto BUILD teve bom ou mau desempenho. Da mesma forma, estabelecer a classificação das intervenções implementadas, orientada apenas pelo número de toneladas de gás carbónico que deixou de ser emitido, não parece ser a melhor maneira de avaliar os benefícios alcançados, nem permite identificar as que tiveram melhor desempenho. Isso porque as intervenções testadas no Laboratório Vivo possuem escalas de ação diferentes e os dados de descarbonização disponíveis sobre as intervenções não permitem uma comparação direta. Além disso, algumas medidas agem como catalisadores para outras medidas, o que exige uma forma de avaliação que considere o impacto dessas interações.

Diante desse cenário, propõem-se que a avaliação do projeto seja feita com a utilização de uma metodologia multicritério.

### 4.1. Proposta de metodologia multicritério

Na metodologia desenvolvida, as intervenções realizadas na área de estudo do LVD serão consideradas como indicadores de descarbonização, sendo estes, por conseguinte, agrupados em setores, de acordo com a área temática de atuação, como por exemplo: mobilidade, eficiência energética. A estrutura desta árvore de decisão é ilustrada pela Figura 9.

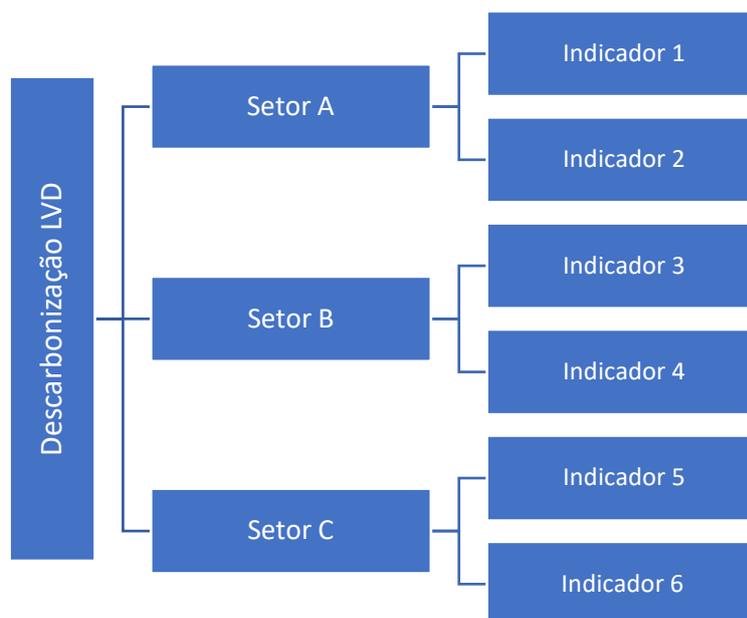


Figura 9 - Proposta de Avaliação Multicritério da Descarbonização gerada pelo LVD

## 4.2. Definição dos parâmetros de comparação e do critério de avaliação dos indicadores

Como forma de avaliar os resultados obtidos pelos indicadores, serão utilizadas as metas e objetivos propostos no plano de implementação do projeto, os quais serão detalhados no subcapítulo 6.1.

Na falta de metas pré-definidas, serão utilizadas avaliações quantitativas ou qualitativas que permitam mensurar se os objetivos inicialmente traçados foram atingidos ou não. Em última análise, serão estabelecidas metas tendo por base as políticas da União Europeia para o combate às alterações climáticas ou documentos de entidades especializadas no tema, de forma a permitir a avaliação.

De forma a classificar os resultados obtidos, será utilizado o critério estabelecido na Tabela 3:

Tabela 3 - Grade de avaliação dos Indicadores

Resultado	Nota de avaliação	Classificação
Atingiu 100% ou mais da meta prevista	5	Muito bom
Atingiu entre 75% e 99% da meta prevista	4	Bom
Atingiu entre 50% e 74% da meta prevista	3	Médio
Atingiu entre 25% e 49% da meta prevista	2	Fraco
Atingiu menos de 25% da meta prevista	1	Muito fraco

### **4.3. Normalização, ponderação e combinação dos indicadores**

A normalização de indicadores ou de eventuais sub-indcadores recorrerá métodos de normalização apresentados no subcapítulo 3.4, levando em consideração a quantidade e tipos de dados disponíveis para a escolha do método apropriado.

No que compete à ponderação de sub-indicadores, sempre que for percebido que um sub-indicador possui maior relevância do que os demais dentro do objetivo avaliado, serão definidas diferentes ponderações, as quais serão justificadas tendo como base a revisão bibliográfica abordada neste estudo ou as metas e cenários de referência estabelecidos no projeto BUILD.

Para a avaliação do desempenho da descarbonização alcançada pelo projeto como um todo e visando uma análise que seja nem tão conservadora, nem tão otimista, serão simulados cenários de avaliação através da atribuição de diferentes ponderações na combinação dos setores, utilizando-se técnicas abordadas no subcapítulo 3.5

Para identificação das intervenções que obtiveram melhor desempenho, será feita a comparação entre elas, com prévia normalização, considerando-se o critério estabelecido na Tabela 3 - Grade de avaliação dos Indicadores.

## 5. Estudo de caso: Projeto BUILD

A cidade de Braga, em Portugal, em consonância com a Agenda 2030 (ONU, 2015) e mais recentemente com o compromisso do país em atingir a neutralidade carbónica até 2050, estabeleceu como um dos seus objetivos estratégicos “a promoção da mudança na vivência da cidade e a aposta na construção de um ambiente mais sustentável, inclusivo e inovador” (Câmara Municipal de Braga, 2017). Para isso, tem procurado o desenvolvimento sustentável através de ações na área de mobilidade, eficiência energética, eficiência hídrica, resíduos sólidos e conscientização da população.

Em 2018, com o apoio do Fundo Ambiental do Ministério do Ambiente de Portugal, a cidade deu início à implementação de um laboratório vivo para descarbonização no âmbito do projeto *Braga Urban Innovation Laboratory Demonstrator* (BUILD), uma área de experimentação instalada a céu aberto com objetivo de testar intervenções que contribuíssem para a mitigação e controle dos efeitos nocivos da poluição atmosférica e redução das emissões de dióxido de carbono, visando salvaguardar a qualidade de vida dos habitantes. O projeto foi desenvolvido através de uma parceria estratégica entre poder público (Câmara Municipal de Braga), empresas municipais e intermunicipais públicas (Transportes Urbanos de Braga – TUB, AGERE – Empresa de Águas, Efluentes e Resíduos de Braga e Braval – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A.), comunidade científica (Universidade do Minho, International Iberian Nanotechnology Laboratory – INL, Centro de Computação Gráfica), Juntas de freguesia (São Vicente e São Victor) e população local.

Dentre os objetivos específicos traçados para o projeto BUILD estão:

- Desenvolver e operacionalizar um sistema de gestão de informação, monitorização, comunicação e interação, denominado Smart City Server;
- Promover a participação e a cidadania ativa da população residente e utilizadora da área BUILD com a adoção de comportamentos mais sustentáveis;
- Envolver a população residente no desenho, experimentação e avaliação das medidas de utilização do espaço urbano;
- Promover a adoção de meios de transporte sustentáveis e a segurança dos utilizadores do espaço, facilitando a mobilidade dentro da área BUILD e arredores;
- Promover a eficiência energética; e
- Contribuir para a redução do impacto ambiental das atividades humanas neste espaço, principalmente através da redução dos GEE emitidos.

## 5.1. Caracterização da área BUILD

A área escolhida para o projeto BUILD (Figura 10) possui 14 hectares e está localizada na freguesia de São Vicente, em um dos principais pontos de congestionamento automóvel da cidade, devido a um conjunto de fatores, nomeadamente: o número de escolas públicas e privadas situadas na sua envolvente, a proximidade do centro da cidade, a presença de áreas residenciais e áreas de interesse comercial e serviços (correios, hipermercados, banco, lar geriátrico, cemitério, lojas), além de estar situada no primeiro anel de malha urbana de expansão da cidade.



Figura 10 - Enquadramento da área BUILD na cidade de Braga

Fonte: Câmara Municipal de Braga (2017)

No que compete à demografia, trata-se de uma área densamente povoada (9000 hab./km<sup>2</sup>), que de acordo com o Censos 2011, é composta por 75 edifícios dentre os quais 62 exclusivamente residenciais e 13 que integram residências e estabelecimentos de comércio e/ou serviço, sendo 60% do parque edificado de construção recente (2001 a 2011). A população local possui perfil de envolvimento em projetos de melhoria da freguesia, organizada através de associação de moradores Grupo de Ação Areal Pachancho – Associação de Moradores (GAP-AM) (Câmara Municipal de Braga, 2017).

Em termos de urbanização, a zona é pouco atrativa para deslocamentos suaves e para pessoas com mobilidade reduzida. Não há ciclovias e os espaços públicos encontram-se abandonados e deteriorados, além de se verificar um desequilíbrio no sistema urbano entre a proporção de áreas construídas e de espaços públicos de lazer (Câmara Municipal de Braga, 2017).

Relativamente ao setor de educação, a zona BUILD possui 6 escolas compreendendo desde o ensino pré-escolar até ao ensino secundário, num total de 4794 alunos (dados referentes ao ano de 2017), sendo por isso expressiva a afluência de veículos particulares a esta zona e os

congestionamentos nos horários de entrada e saída dos alunos durante o período de aulas. Esta afirmação pôde ser comprovada através de inquérito realizado no âmbito da Semana Europeia da Mobilidade de 2017, onde 86,7% dos inquiridos afirmou que o modo de transporte utilizado com maior frequência na deslocação para o estabelecimento escolar é o automóvel privado (movido a gasolina / gasóleo). Adicionalmente, a grande maioria dos condutores afirmou que sua zona de destino, após a entrega dos alunos na escola, se situava fora do centro da cidade de Braga (Câmara Municipal de Braga, 2017).



Figura 11 - Caracterização da área BUILD delimitada pelas suas principais vias  
Fonte: Câmara Municipal de Braga (2017)

A Tabela 4, apresentada a seguir, mostra o número de alunos distribuído por grupo letivo, e por escola.

Tabela 4 - Alunos matriculados nas escolas na envolvente da zona BUILD (Câmara Municipal de Braga, 2017)

Escola	Número de Alunos				
	Pré-Escolar	1º ciclo	2º ciclo	3º ciclo	Secundário
Escola das Enguardas (*)	45	95	-	-	-
Escola Sá de Miranda (*)	-	-	-	86	967
Escola Francisco Sanches (*)	-	-	350	518	-
Colégio Leonardo Da Vinci	56	106	23	-	-
Colégio D. Diogo de Sousa	243	435	294	505	515
Colégio Teresiano	106	248	102	135	-
<b>TOTAL</b>	<b>553</b>	<b>986</b>	<b>763</b>	<b>1125</b>	<b>1367</b>

(\*) Escolas públicas

## **5.2. Intervenções realizadas na área BUILD**

Como estratégia, o projeto BUILD focou em quatro áreas de atuação: mobilidade, edifícios, energia e economia circular/ambiente, sendo esperado que as intervenções em mobilidade apresentassem um maior contributo à descarbonização. Estabeleceu-se ainda que as atividades de comunicação, isto é, as ações de sensibilização e informação à comunidade seriam transversais a todas as áreas.

A seguir serão apresentadas de forma detalhada cada uma das sete intervenções realizadas no âmbito do projeto, as quais serão posteriormente avaliadas através da metodologia proposta. Ressalta-se que nem todas as intervenções previstas foram implementadas, de forma que somente as que já se encontram concluídas e que possuem dados disponíveis serão objeto de avaliação. Maiores informações sobre todas as medidas previstas no projeto podem ser obtidas em (Câmara Municipal de Braga, 2017).

### **5.2.1. Medidas complementares em mobilidade**

De forma a contribuir para o objetivo geral do projeto, nomeadamente na área de mobilidade, foram implementadas adaptações ao ordenamento viário, quer em locais de interface, quer nas proximidades dos estabelecimentos de ensino envolvidos, de forma a melhorar o fluxo do tráfego, garantir maior segurança rodoviária na zona BUILD e incentivar o uso de meios de deslocação mais sustentáveis.

Dentre as medidas complementares realizadas destacam-se: a conversão de parte da faixa de estacionamento da rua Conselheiro Bento Miguel em área de paragem dos autocarros, a criação da área “Kiss and Go”, com a reserva de lugares de paragem de automóveis destinada unicamente à tomada e largada de alunos das escolas, com duração de até 1 minuto (Figura 12), a colocação de pilaretes delimitando vias e inibindo estacionamentos abusivos (Figura 13), a definição de “zonas 30” (medida de acalmia com limitação da velocidade máxima a 30 km/h nas zonas “Kiss and Go”) e a “Faixa BUS”, uma via de circulação exclusiva para autocarros (Figura 14). Ressalta-se, que estas medidas não foram objeto direto de medição de descarbonização, mas seus efeitos serão considerados neste estudo.



Figura 12 - Projeto Kiss & Go implementado na zona BUILD  
Fonte: Ribeiro, Araújo, & Silva (2019b) e Souza (2019)



Figura 13 - Pilaretes inibem o estacionamento abusivo na zona BUILD (antes e depois da intervenção)  
Fonte: Ribeiro et al. (2019b)



Figura 14 - Antes e depois da implementação da Faixa Bus  
Fonte: Souza (2019)

### 5.2.2. Programa School Bus

A intervenção teve como objetivo criar um sistema de transporte escolar, denominado School Bus, que permitisse transportar com segurança os alunos das várias escolas públicas e privadas existentes na zona BUILD e também no seu redor, e dessa forma reduzir o fluxo de automóveis particulares que acedem à esta zona, nomeadamente os encarregados de educação que levam os seus filhos à escola, sem que essa seja a sua freguesia de destino. Além da melhoria da mobilidade, a medida visa a redução da poluição atmosférica e das emissões de carbono na zona BUILD.

Foram inseridas neste projeto a Escola Básica 2/3 André Soares e o Conservatório de Música Calouste Gulbenkian, localizadas no entorno da zona BUILD. Das escolas localizadas na zona BUILD, participaram: Colégio Dom Diogo de Sousa, Colégio Leonardo Da Vinci, Colégio Teresiano e Escola Básica 2/3 Francisco Sanches. A seleção dos estabelecimentos de ensino participantes e das 4 interfaces de recolha das crianças foram realizadas a partir da avaliação dos dados de um projeto-piloto realizado em 2017, no contexto da Semana da Mobilidade (Ribeiro, Araújo, & Silva, 2019a).

As interfaces implementadas estão assim localizadas: (i) junto ao Estádio Municipal, (ii) no Continente Bom dia, em Maximinos, (iii) na Av. Robert Smith, junto ao Minho Center, e (iv) na Rotunda da Força Aérea, em Tenões.



Figura 15 – Divulgação do Projeto School Bus

A operação consiste nos encarregados de educação deixarem os alunos em uma destas interfaces, os quais são transportados de autocarro até aos estabelecimentos de ensino, sendo acompanhados por monitores que garantirão a vigilância durante o transporte e a segurança no atravessamento até cada escola/colégio. A cada aluno inscrito foi atribuído um passe escolar dos TUB (Transportes Urbanos de Braga), que valida o acesso do aluno ao respetivo autocarro. Por esse motivo,

os autocarros alugados são dotados de leitores portáteis. Esperava-se que, a atribuição do passe escolar a alunos que não o possuíam, e a mudança de comportamento na ida à escola, impulsionasse os alunos a adotar a mesma conduta no regresso à casa, utilizando o transporte público já existente na cidade, também realizado pelos TUB.

Pretende-se ainda que os resultados deste projeto sirvam de base para um possível alargamento do serviço a outras áreas escolares da cidade, bem como para a inclusão de outros pontos de interface na periferia da cidade.



*Figura 16 - Autocarro do School Bus chegando à zona BUILD  
Fonte: Bragatv.pt*

### **5.2.3. Passadeira inteligente com sistema Omniflow**

A passadeira inteligente tem como objetivo diminuir substancialmente os riscos de acidentes e atropelamentos nos locais de atravessamento, aumentando o conforto e a segurança do peão, sem que para isso seja necessário gerar maior gasto energético com aumento da iluminação pública no local, como ocorre com passadeiras convencionais. Além disso, quando implementada junto a outras medidas de sustentabilidade e de segurança rodoviária, estimula o deslocamento pedonal em detrimento do uso de veículos ligeiros, promovendo a diminuição de emissões de CO<sub>2</sub>. Trata-se, portanto, de uma intervenção com impacto nas áreas de mobilidade e eficiência energética.

O sistema que compõe a passadeira inteligente instalada na zona BUILD é capaz de detetar a aproximação de peões à passadeira, através de imagens em tempo real, e alertar os condutores de três maneiras distintas: (i) através de uma luz superior que aumenta a potência pelo menos duas vezes mais na área da passadeira; (ii) ao ligar um sinal retroiluminado, acionado através de um sensor de movimento, quando este deteta automaticamente um pedestre se aproximando; e (iii) ao ligar uma

iluminação de alta resistência no solo, colocada em cada lado ao longo da passadeira, permitindo avisar os veículos da passagem de um pedestre na passadeira (Silva & Paiva, 2019a).

Este sistema funciona 24 horas por dia e, é capaz de controlar os níveis de iluminação consoante ao horário do dia e a presença ou não de peões, reduzindo o consumo energético. Adicionalmente, por estar diretamente conectado a um sistema de microgeração de energia eólica e solar, com armazenamento em baterias, denominado Omniflow, esta solução é autossustentável.



*Figura 17 - Sistema de microgeração de energia Omniflow  
Fonte: Siemens Mobility (n.d.)*

Na zona BUILD, a passadeira inteligente foi instalada na Rua Conselheiro Bento Miguel, próxima à rotunda Dom Diogo de Sousa, uma via de acesso ao centro da cidade e aos concelhos limítrofes de Vila Verde e Amares, tendo um fluxo médio de tráfego superior a 1000 veículos por hora no período diurno (Silva & Paiva, 2019a).

A proximidade com três estabelecimentos de ensino (Colégios Dom Diogo de Souza, Colégio Leonardo da Vinci e Escola Secundária Sá de Miranda) e a presença de serviços (banco, multibanco, hipermercado, pastelaria, cafés) e edifícios residenciais, contribuem para o elevado número de pessoas que circulam na área e atravessam essa via nos diversos horários do dia.

Em decorrência da instalação da passadeira inteligente foram instalados 2 Omniflows (um em cada extremidade da passadeira), e substituídas duas luminárias tracionais que iluminavam a antiga passadeira convencional (luminárias de vapor de sódio com potencia de 150W cada), que estavam a funcionar sem interrupções durante o período do entardecer e noturno (desde as 20h até as 07h), totalizando em média 11 horas diárias de iluminação.



Figura 18 - Passadeira após a intervenção: sinais verticais retroiluminados, iluminação de solo e Omniflow (dia)  
Fonte: Centro de Estudos de Comunicação e Sociedade



Figura 19 - Passadeira após a intervenção: sinais verticais retroiluminados, iluminação de solo e Omniflow (entardecer)  
Fonte: Câmara Municipal de Braga

#### **5.2.4. Iluminação pública eficiente e inteligente**

A intervenção “Iluminação pública eficiência e inteligente” visa manter a qualidade da iluminação pública, fundamental para a segurança das pessoas e do trânsito automóvel, e ao mesmo tempo promover a diminuição do consumo energético.

Para tal, procedeu-se à troca de luminárias convencionais por iluminação a LED, que apresenta maior poupança energética, maior vida útil, robustez e resistência ao choque quando comparada às lâmpadas incandescentes, além de permitirem o direcionamento da totalidade da luz num único sentido, aumentando a eficiência e não libertando calor.

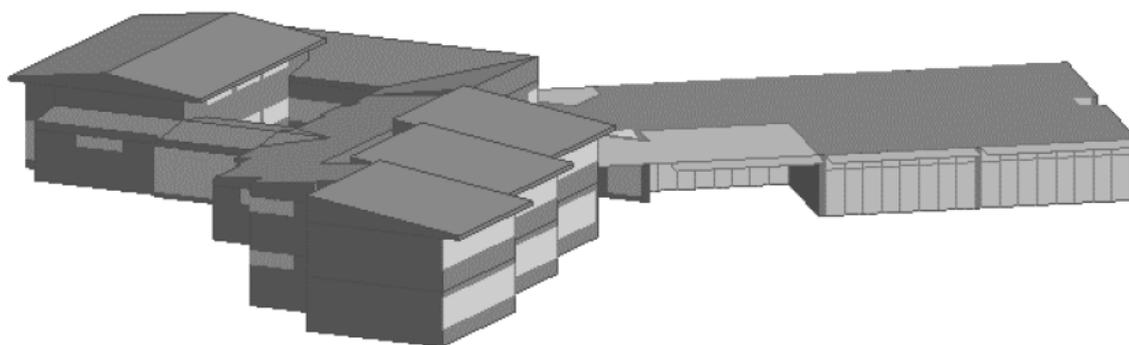
Adicionalmente, instalou-se um sistema inteligente de controle do fluxo luminoso (*dimming*) de forma que a intensidade da iluminação cresça proporcionalmente à diminuição da luz natural que

ocorre com o pôr do sol. A solução possui sensores de proximidade que permitem regular o fluxo luminoso de forma dinâmica, na ausência de movimento de veículos e peões nas proximidades das passadeiras.

Em fase posterior, ainda não realizada, pretende-se que a solução de iluminação tenha conectividade à Internet, permitindo remotamente o controlo da iluminação e a monitorização do funcionamento de cada luminária de modo individual.

### **5.2.5. Melhoria da eficiência energética em edifícios**

O edifício escolhido para ser alvo de intervenção para melhoria da eficiência energética foi a Escola Básica do 1º Ciclo com Jardim de Infância de Enguardas (Figura 20), que está integrada no Agrupamento de Escolas Dr. Francisco Sanches, localizada na Rua Dr. José Sousa Machado, na zona BUILD. Trata-se de um edifício construído em 1980 e requalificado em 2007, quando ocorreu a construção do espaço destinado ao Jardim de Infância.



*Figura 20 - Modelo tridimensional da Escola básica do 1º ciclo com Jardim de infância das Enguardas  
Fonte: (Machado, 2019a)*

A zona do edifício onde se encontra a Escola Básica do 1º ciclo possui dois pavimentos e a zona onde se localiza o Jardim de Infância, apenas um. Relativamente ao sombreamento, o edificado da área circundante à escola não provoca qualquer obstrução solar aos vãos envidraçados.

A intervenção prevista no âmbito do projeto BUILD foi realizada apenas na zona do edifício correspondente à Escola do 1º ciclo (Figura 21), tendo em vista que esta não havia sido objeto de intervenção ao nível de isolamento térmico das fachadas na obra realizada em 2007, enquanto que o projeto do Jardim de infância já contemplava isolamento térmico (Machado, 2018).



Figura 21 - Edifício do 1º ciclo da Escola Básica das Enguardas - antes da intervenção BUILD  
Fonte: Machado (2019a)

Conforme descrito por Machado (2019a), a intervenção para melhoria da eficiência energética do edifício consistiu no reforço do isolamento térmico da envolvente e no tratamento das trocas térmicas através da(o);

- Instalação de um sistema ETICS (*External Thermal Insulation System*), também conhecido como “capoto”, com espessura de 4 cm de isolamento em poliestireno expandido, e acabamento em granito na zona inferior da parede e de 6 cm de isolamento com reboco na zona superior da parede;
- Reforço da cobertura do edifício através da colocação de 6 cm de isolamento térmico no desvão da cobertura; e
- Melhoria das condições de sombreamento dos vãos envidraçados através da instalação de um sistema de sombreamento com palas fixas, instalado na fachada orientada a sudeste (salas de aula), similar ao já existente no edifício do jardim de infância.

Baseado em estudos e outros projetos (Machado, 2018), a melhoria da qualidade térmica do edifício reduz a necessidade de aquecimento no inverno e arrefecimento no verão, o que permite uma poupança energética e, conseqüentemente, uma redução na emissão de CO<sub>2</sub>. Além disso, este tipo de intervenção contribui para reduzir a probabilidade de ocorrência de problemas associados ao aparecimento de condensações e, conseqüentemente, desenvolvimento de bolores e degradação do edifício, para a melhoria da qualidade do ambiente interior (conforto térmico, acústico, lumínico e qualidade do ar interior), proporcionando melhoria na produtividade, capacidade de aprendizagem, saúde, bem-estar e conforto dos utilizadores do edifício.





Figura 22 - Edifício do 1º ciclo da Escola Básica das Enguardas - após o revestimento térmico e sombreamento - BUILD  
Fonte: Machado (2019a)

### **5.2.6. Melhoria da eficiência hídrica em edifícios**

No que compete à melhoria de eficiência hídrica, optou-se pela implementação de um Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP) no edifício da Escola Básica do 1º Ciclo com Jardim de Infância de Enguardas. A água captada nesse sistema seria, inicialmente, destinada à utilização em casas de banho (sanitas e urinóis), a regas do jardim e à limpeza de pavimentos, com o objetivo de reduzir o consumo de água potável do edifício e, dessa forma, diminuir as emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes das etapas de captação, tratamento e distribuição de águas realizadas antes da água chegar às condutas da escola. No entanto, o sistema (SAAP) implementado até o momento, destina a água captada unicamente para aparelhos sanitários, num total de 20 sanitas e 4 urinóis das casas de banho.

Um SAAP compreende uma superfície de captação (coberturas, em geral), um sistema de transporte (caleiras, tubos de queda), uma etapa de filtração (para remover folhas, poeira e outros resíduos que possam acumular na superfície de captação) e um reservatório para armazenamento da água, o qual deve ser corretamente dimensionado consoante às características pluviométricas da região em que o edifício está situado (Torres, 2015).

No edifício em questão, a superfície de captação de água da chuva localiza-se na cobertura e possui 511 m<sup>2</sup>. Depois de captada, a água é drenada até um reservatório com capacidade de armazenamento de 52 m<sup>3</sup>, que se encontra enterrado no solo, para aproveitar a proteção geotérmica. Antes de adentrar o reservatório, a água é previamente filtrada para impedir a entrada de resíduos no reservatório. As fases de instalação do reservatório podem ser vistas nas figuras Figura 23 a Figura 25.

Em períodos de baixa precipitação, a água é suprida pelo sistema de abastecimento municipal existente. Para tal, um sistema de gestão controla a entrada de água da rede pública no reservatório,

garantindo que haja um nível mínimo de água disponível, sem, no entanto, que as águas de origem pluvial entrem em contato com as provenientes da rede de abastecimento, como exige a legislação.

Destaca-se que o sistema de gestão instalado não permite a leitura do volume de água captada pelo SAAP ou o consumo realizado (Machado, 2019b).



*Figura 23 - 1ª fase - escavação e colocação do reservatório*  
*Fonte: Machado (2019b)*



*Figura 24 - 2ª fase - instalação do reservatório*  
*Fonte: Machado (2019b)*



*Figura 25 - 3ª fase - finalização da instalação do reservatório*  
*Fonte: Machado (2019b)*

### **5.2.7. Programa Conexão Mais Cidadania e ações para uma mobilidade sustentável**

O conjunto de intervenções realizadas no plano de comunicação do projeto BUILD, envolveu o Programa Conexão Mais Cidadania e outras medidas de promoção de uma mobilidade sustentável, as quais têm como objetivo tornar a descarbonização uma realidade construída com e pelas pessoas, através da educação. Essas intervenções se interrelacionam de maneira transversal com as demais intervenções realizadas no BUILD, uma vez que visam sensibilizar a população sobre a importância da descarbonização nas diferentes áreas temáticas envolvidas e, posteriormente, capacitá-la, visando torná-la agente transformador da qualidade ambiental, da regeneração urbana e da sustentabilidade do território. Em última análise, buscando fomentar uma cidadania ativa.

O público-alvo dessas intervenções são a comunidade escolar (estudantes, encarregados de educação e dirigentes), os residentes, comerciantes e cidadãos em geral que frequentam a área BUILD e as entidades relacionadas ao projeto (Juntas de Freguesia, Polícia Municipal, Transportes Urbanos de Braga e Câmara Municipal de Braga). As atividades realizadas foram desenvolvidas de acordo com cada um desses públicos.

Para tal, a Câmara Municipal contou com a parceria de três centros de investigação da Universidade do Minho, pertencentes a diferentes áreas do saber, nomeadamente: o Centro de Investigação em Estudos da Criança (CIEC), o Centro de Estudos Comunicação e Sociedade (CECS) e o Centro de Território, Ambiente e Construção (CTAC).

Nem todas as atividades previstas puderam ser realizadas na sua totalidade dentro do período do projeto, de forma que, serão citadas apenas as etapas que foram concluídas e que poderão ser objeto de análise.

Adicionalmente, destaca-se que, apesar do “Programa Conexão Mais Cidadania” e das “Ações para uma Mobilidade Sustentável” serem apresentados abaixo como dois projetos distintos, para efeito de avaliação dos impactos gerados, os projetos serão considerados na avaliação como uma única intervenção voltada às pessoas.

#### **Programa Conexão Mais Cidadania**

As atividades realizadas pelo Programa Conexão Mais Cidadania envolveram alunos da Escola das Enguardas, isto é, crianças inscritas no pré-escolar e no 1º ciclo (com idades entre 4 e 10 anos), através da realização de concurso de desenhos para criação da mascote e do logótipo das Olimpíadas pela Descarbonização (Figura 26). Essa atividade contou com o envolvimento das professoras para

dinamizar uma sessão alusiva ao tema da descarbonização e workshops com as crianças. Ao final do concurso construiu-se as mascotes vencedoras.



Figura 26 - Desenhos participantes do concurso realizado pelo Programa Conexão Mais Cidadania  
Fonte: (Viana & Teixeira, 2019)

As Olimpíadas pela Descarbonização são atividades que serão desenvolvidas a partir da competitividade lúdico-educativa, com o objetivo de promover boas práticas ecológicas e clarificar o que é a descarbonização, a qual deverá envolver as demais escolas, prevendo-se sua realização no próximo ano letivo.



Figura 27 – Sessão de diálogo da 1ª Eco Semana na Escola das Enguardas  
Fonte: (Viana & Teixeira, 2019)

A Eco Semana é uma atividade que pretende promover diálogos entre gerações, visando a descarbonização, abrangendo toda a comunidade do território BUILD, principalmente as escolas públicas e privadas, a associação de moradores, o lar de idosos e a junta de freguesia. Na 1ª edição foram envolvidos os alunos das Escola EB 2,3 Francisco Sanches e Escola das Enguardas, através de sessões de diálogo decorridas no período da Semana Verde Europeia, entre os dias 13 e 17 de maio de 2019, e no dia 18 de maio de 2019 para o público em geral, numa sessão pública com o tema “(Re)utilizar o nosso espaço”.

### **Ações para uma mobilidade sustentável**

Com o objetivo de promover e educar as pessoas acerca da mobilidade sustentável, foi realizado um conjunto de atividades, principalmente voltadas à comunidade escolar dos Colégios Dom Diogo de Sousa e Leonardo da Vinci, dada a proximidade desses dois estabelecimentos de ensino aos locais onde as medidas de descarbonização no setor de mobilidade foram implementadas e que, portanto, poderiam ser mais facilmente percebidas.



*Figura 28 - Alunos do Colégio Dom Diogo de Sousa durante o workshop de ideias e durante os Jogos da Mobilidade  
Fonte: Souza (2019)*



*Figura 29 - Percepção dos encarregados de educação sobre a Mobilidade em Braga.  
Fonte: Souza (2019)*

Dentre as atividades realizadas com a comunidade escolar estão: workshops de ideias e jogos com a temática de mobilidade sustentável, ambos desenvolvidos com os estudantes (Figura 28); grupos focais desenvolvidos com encarregados de educação (Figura 29), e entrevistas com os dirigentes dos colégios envolvidos.

No que tange à comunidade, foram realizadas sessões públicas (Figura 30) e uma intervenção utilizando urbanismo tático, na qual os participantes ajudaram a construir e instalar o mobiliário urbano em um espaço público da zona BUILD, o qual foi feito a partir de material reciclado (Figura 31).



*Figura 30 - Sessão pública ocorrida em 30/03/2019 com a comunidade  
Fonte: Equipa técnica do projeto BUILD*

Adicionalmente foram realizados inquéritos às pessoas, voltados a três públicos-alvo (estudantes, encarregados de educação e população em geral). Estes inquéritos tiveram como objetivo obter estimativas, descrever a população e verificar hipóteses sobre os seguintes assuntos: características de deslocação, perceção do espaço público em relação à qualidade e segurança, opinião acerca da mobilidade na cidade de Braga e sugestões para melhorar a mobilidade na área de estudo.

Maiores informações sobre os Programa Conexão Mais Cidadania e sobre as Ações para uma Mobilidade Sustentável desenvolvidas no âmbito do projeto BUILD podem ser obtidas respetivamente em Viana & Teixeira (2019) e Souza (2019).



*Figura 31 - Intervenção de Urbanismo Tático através da construção de mobiliário urbano para a zona BUILD  
Fonte: Souza (2019)*

## 6. Avaliação multicritério da descarbonização alcançada no BUILD

Seguindo a metodologia proposta no capítulo 4, as intervenções realizadas no projeto BUILD e descritas ao longo do subcapítulo 5.2 foram consideradas como indicadores de descarbonização, tendo sido agrupadas em três setores: Mobilidade, Edificado e Vias Públicas, como pode ser visto na árvore de decisão apresentada na Figura 32.

Apesar do plano de implementação do projeto BUILD abordar quatro setores: Mobilidade, Energia, Edifícios e Economia circular/Ambiente, entendeu-se que o setor Energia está contemplado tanto em intervenções do grupo Vias Públicas (passadeira inteligente e iluminação pública eficiente e inteligente), quanto em intervenções do grupo Edificado (melhoria da eficiência energética e melhoria da eficiência hídrica). Já as intervenções pertencentes ao setor Economia circular/Ambiente, estão inseridas no grupo Edificado.

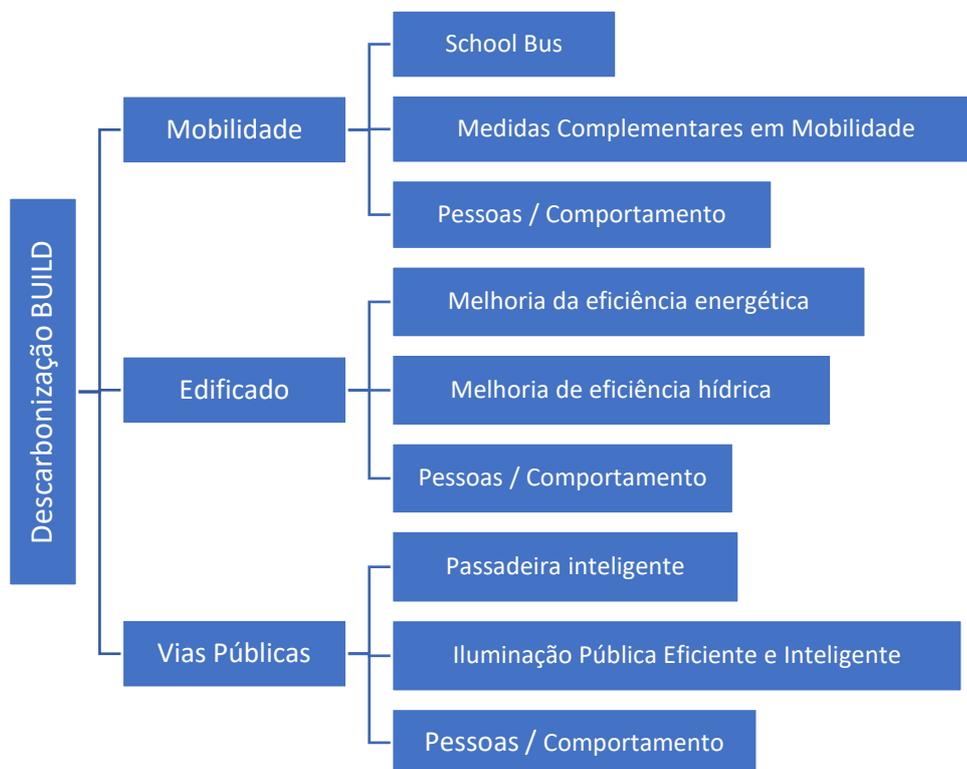


Figura 32 – Estrutura de Avaliação Multicritério da Descarbonização gerada pelo Projeto BUILD

Destaca-se ainda que a intervenção “Programa Conexão Mais Cidadania e ações para uma mobilidade sustentável” será considerada e avaliada nos três setores como a componente “Pessoas/Comportamento”, tendo em vista que as ações de comunicação, informação e sensibilização da comunidade têm impacto transversal a todas as medidas. Ao mesmo tempo, rejeitou-se a ideia de considerá-la com um quarto setor isolado, uma vez que, com base nos dados disponíveis, essa solução poderia levar à contabilização superestimada da descarbonização obtida no projeto.

## **6.1. Metas de descarbonização, objetivos e cenários de referência**

Na candidatura do projeto BUILD ao financiamento do Fundo Ambiental, foram apresentados cenários de referência para algumas das áreas temáticas do projeto. Adicionalmente, foram apresentados objetivos e metas de descarbonização para algumas medidas, conforme apresentado abaixo. Dessa forma, seguindo o que foi proposto no subcapítulo 4.2, sempre que possível, estas metas, objetivos e cenários serão utilizadas como parâmetros de comparação.

### **Mobilidade**

De acordo com o plano inicial do projeto (Câmara Municipal de Braga, 2017), a área temática de Mobilidade possui um cenário de referência de emissões anuais de 1704,53 toneladas de CO<sub>2</sub>. O cálculo levou em consideração a rede viária da área BUILD (2,4 km de extensão), a composição da frota de veículos de acordo com o INE (Instituto Nacional de Estatística) para o distrito de Braga, a distribuição de tráfego na rede viária (baseada em um levantamento realizado em 2017), o tipo de combustível utilizado e o fator de emissão de CO<sub>2</sub> por tipo de motorização.

Especificamente para a intervenção School Bus foi apresentado um cenário de referência sem o LVD de 1650,98 ton de CO<sub>2</sub>/ano e uma meta de redução da emissão de gás carbónico de 3,14%. Assim, espera-se que, com a implementação desta medida, sejam reduzidos 51,84 ton CO<sub>2</sub>/ano.

As medidas nesta área temática visavam ainda reduzir o congestionamento de tráfego junto aos estabelecimentos de ensino da área BUILD.

### **Edificado**

Não foi apresentado um cenário de referência do consumo energético do edificado, tendo em vista a inexistência de equipamento de monitorização para cumprir a metodologia constante no DL 118/2013. No entanto, baseando-se em experiências obtidas em estudos de casos semelhantes, espera-se que as medidas de eficiência energética reduzam o consumo de energia em cerca de 30%, conduzindo a reduções equivalentes em termos de redução das emissões de CO<sub>2</sub> (Câmara Municipal de Braga, 2017).

No que compete à melhoria da eficiência hídrica, o projeto prevê que o impacto ao nível do consumo de energia e de redução de CO<sub>2</sub> será residual a curto prazo, no entanto, as intervenções propostas na área temática do edificado tem como objetivo demonstrar à comunidade escolar e aos residentes os benefícios e a importância de ações indiretas para redução de CO<sub>2</sub> e, a longo prazo, estimular e capacitar a população para a instalação deste tipo de solução em casas e edifícios residenciais da região, permitindo alcançar impactos superiores (Câmara Municipal de Braga, 2017).

## **Vias Públicas**

No que tange às passadeiras inteligentes com sistema Omniflow e às intervenções para melhoria da iluminação pública, não foram estabelecidos cenários de referência ou metas. No entanto, pretendia-se com essas medidas alcançar níveis de eficiência superiores aos que se conseguiria com a simples substituição das luminárias tradicionais por lâmpadas LED, dado que haverá controlo do fluxo luminoso, com aumento proporcional à diminuição da luz natural e também face à presença ou não de movimento de peões e veículos.

Adicionalmente, buscava-se aumentar a segurança para o peão durante seu percurso, nomeadamente nos atravessamentos (onde o condutor é avisado da presença de peões), e dessa forma, fomentar a médio prazo a utilização de modos suaves de deslocação.

## **6.2. Avaliação de indicadores a partir dos dados de descarbonização**

A partir dos relatórios gerados por integrantes do projeto BUILD, ao longo e após a execução das sete intervenções descritas anteriormente, foi possível extrair dados sobre a descarbonização obtida. Abaixo são descritas de forma sucinta as metodologias utilizadas para calcular a descarbonização e a avaliação dos indicadores utilizando a metodologia proposta neste estudo.

### **6.2.1. Medidas complementares em mobilidade**

Não há dados de descarbonização disponíveis sobre essas medidas quer no plano de implementação, quer nos relatórios do projeto BUILD. No entanto, ao considerar que essas medidas têm um importante papel para que as demais medidas de mobilidade sejam bem sucedidas, foi estabelecido um critério de avaliação qualitativo do impacto das cinco medidas complementares em conjunto, tendo por base relatos e informações disponíveis no relatório de Ribeiro et al. (2019b) e de Silva & Paiva (2019a) desenvolvidos durante a realização do projeto BUILD. Dessa forma, visando perceber se as intervenções atenderam ao objetivo a que se propunham, as medidas foram avaliadas com notas que variaram entre 0 e 1, conforme explicado na Tabela 5. Ressalta-se que a grade de avaliação nesse caso foi reduzida a 3 valores, tendo em vista ser uma avaliação qualitativa.

*Tabela 5 - Grade de avaliação dos objetivos das medidas complementares*

<b>Resultado percebido</b>	<b>Nota de avaliação</b>
Atingiu o objetivo	1
Houve alguma melhoria	0,5
Indiferente / não é possível avaliar	0

A nota de avaliação atribuída a cada um dos objetivos é apresentada na Tabela 6. Maiores informações sobre os resultados obtidos por essas medidas serão abordadas no subcapítulo 7.2.1.

Tabela 6 - Avaliação e ponderação do resultado obtido pelas medidas complementares em mobilidade.

Objetivos	Nota de avaliação	Peso	Score
Reduzir o estacionamento abusivo	1	20%	0,20
Diminuir a paragem em 2ª fila nos horários de entrada e saída dos alunos	0,5	20%	0,10
Reduzir o tempo de paragem dos encarregados nos horários de entrada e de saída dos alunos	0,5	20%	0,10
Melhorar a circulação dos autocarros	0,5	20%	0,10
Criar uma área de paragem para o School Bus	1	20%	0,20
		<b>Total</b>	<b>0,70</b>

A fim de estabelecer uma nota de avaliação única ao indicador “medidas complementares em mobilidade”, considerou-se que todos os objetivos (sub-indicadores) possuem a mesma importância, e por isso, receberam igual peso. Dessa forma, utilizando-se a **Equação 3-3** obteve-se a nota da intervenção igual a 0,70.

$$Score = (1 \times 0,2) + (0,5 \times 0,2) + (0,5 \times 0,2) + (0,5 \times 0,2) + (1 \times 0,2) = 0,70$$

Com o propósito de classificar o indicador utilizando a grade de avaliação estabelecida na Tabela 3 do subcapítulo 4.2, procedeu-se à normalização do score, utilizando-se para tal a normalização proposta na **Equação 3-1**. O resultado foi arredondado e a nota de avaliação obtida foi 4, que equivale à classificação “Bom”.

$$Nota\ final\ de\ avaliação = \frac{(0,7 - 0)}{(1 - 0)} * 5 = 3,5$$

### 6.2.2. Programa School Bus

A metodologia utilizada por Silva & Paiva (2019b), para medir a descarbonização gerada pelo programa School Bus será relatada a seguir e considerou o pressuposto de que um aluno que utiliza o School Bus equivale a um veículo ligeiro que deixa de circular na zona BUILD, tendo em visto o elevado número de encarregados de educação que utilizam o carro como meio de transporte para levar e buscar os alunos nesta zona da cidade.

Os autocarros do programa School Bus possuem 2 horários distintos. Aqueles que partem às 07:45h das interfaces (Estádio Municipal, Variante do Fojo, Maximinos e Av. Robert Smith), fazem o percurso até as escolas Francisco Sanches, Calouste Gulbekian e André Soares. Já os que partem às 08:20h das mesmas interfaces, fazem o percurso até os colégios Dom Diogo de Sousa, Leonardo da Vinci e Teresiano.

A partir da contabilização do número de alunos que utilizaram o serviço de autocarros, foi determinado o número médio diário de alunos por interface e por horário.

Para converter o número médio diário de alunos que utilizaram o School Bus em veículos ligeiros que deixaram de circular na zona BUILD, primeiro obteve-se as características da frota automóvel na região, isto é, a tipologia de veículo e o tipo de combustível utilizado. A partir desses dados constatou-se que, a frota de ligeiros da região possui a seguinte distribuição: 64,1% são movidos a gásóleo e 34,5% a gasolina. A quantidade de CO<sub>2</sub> emitido varia por tipo de combustível, tendo sido utilizado o fator de emissão para um veículo ligeiro (*average car*) divulgado pelo DEFRA 2017 e apresentado na Tabela 7:

Tabela 7 - Fator de emissão de um veículo ligeiro

<b>Fator de Emissão [kg CO<sub>2</sub> eq/km]</b>	
gásóleo	0,17887
gasolina	0,18568

A fim de calcular a distância percorrida nos diversos trajetos, considerou-se 2 centroides na zona das escolas: o centroide das escolas BUILD (CEB), isto é, o ponto médio do percurso do autocarro que passa pelas escolas Francisco Sanches, Calouste Gulbekian e André Soares e o centroide das escolas não-BUILD (CENB), isto é, o ponto médio do percurso do autocarro que passa pelos colégios Dom Diogo de Sousa, Leonardo da Vinci e Teresiano. Essas distâncias são apresentadas na Tabela 8:

Tabela 8 - Distância percorrida entre os locais de saída do School Bus e os centroides das escolas

<b>Local de Saída</b>	<b>Escola</b>	<b>Distância Percorrida [km]</b>
Estádio Municipal	CENB	5,3
Estádio Municipal	CEB	4
Variante do Fojo	CENB	3,2
Variante do Fojo	CEB	4,7
Av. Robert Smith	CENB	5,4
Av. Robert Smith	CEB	4,1
Maximinos	CENB	5,6
Maximinos	CEB	4,3

Multiplicou-se então o número de veículos, pela distância percorrida (considerando-se um percurso de ida e volta, pela manhã) e pelo fator de emissão associado. O resultado são os valores médios das reduções de emissões diárias de CO<sub>2</sub> equivalente ocorridas em cada mês, apresentado na Tabela 9. Isso quer dizer que, por exemplo, em cada dia letivo no mês de setembro de 2018, houve uma redução de emissões média de 230,40 kg de CO<sub>2</sub> equivalente.

Tabela 9 – Valor médio diário de redução de emissões de CO<sub>2</sub>eq referentes a cada mês do ano letivo

	Local de Saída	Escola	Gasóleo [kg CO <sub>2</sub> eq]	Gasolina [kg CO <sub>2</sub> eq]	Total [kg CO <sub>2</sub> eq]
set/18	Estádio Municipal	CENB	8,51	4,75	230,40
	Estádio Municipal	CEB	32,1	17,94	
	Variante do Fojo	CENB	1,47	0,82	
	Variante do Fojo	CEB	20,48	11,44	
	Av. Robert Smith	CENB	3,71	2,08	
	Av. Robert Smith	CEB	61,11	34,14	
	Maximinos	CENB	11,56	6,46	
	Maximinos	CEB	8,87	4,96	
out/18	Estádio Municipal	CENB	14,58	8,15	249,38
	Estádio Municipal	CEB	30,27	16,91	
	Variante do Fojo	CENB	2,20	1,23	
	Variante do Fojo	CEB	22,63	12,65	
	Av. Robert Smith	CENB	4,95	2,77	
	Av. Robert Smith	CEB	63,93	35,72	
	Maximinos	CENB	11,56	6,46	
	Maximinos	CEB	9,86	5,51	
nov/18	Estádio Municipal	CENB	17,01	9,51	229,61
	Estádio Municipal	CEB	25,68	14,35	
	Variante do Fojo	CENB	2,2	1,23	
	Variante do Fojo	CEB	21,56	12,04	
	Av. Robert Smith	CENB	3,71	2,08	
	Av. Robert Smith	CEB	58,29	32,57	
	Maximinos	CENB	8,99	5,02	
	Maximinos	CEB	9,86	5,51	
dez/18	Estádio Municipal	CENB	13,37	7,47	191,20
	Estádio Municipal	CEB	21,1	11,79	
	Variante do Fojo	CENB	2,2	1,23	
	Variante do Fojo	CEB	16,17	9,03	
	Av. Robert Smith	CENB	3,71	2,08	
	Av. Robert Smith	CEB	47,95	26,79	
	Maximinos	CENB	10,27	5,74	
	Maximinos	CEB	7,89	4,41	

	<b>Local de Saída</b>	<b>Escola</b>	<b>Gasóleo [kg CO<sub>2</sub>eq]</b>	<b>Gasolina [kg CO<sub>2</sub>eq]</b>	<b>Total [kg CO<sub>2</sub>eq]</b>
jan/19	Estádio Municipal	CENB	14,58	8,15	202,52
	Estádio Municipal	CEB	23,85	13,32	
	Variante do Fojo	CENB	2,94	1,64	
	Variante do Fojo	CEB	16,17	9,03	
	Av. Robert Smith	CENB	2,48	1,38	
	Av. Robert Smith	CEB	50,77	28,37	
	Maximinos	CENB	10,27	5,74	
	Maximinos	CEB	8,87	4,96	
fev/19	Estádio Municipal	CENB	15,8	8,83	205,49
	Estádio Municipal	CEB	20,18	11,27	
	Variante do Fojo	CENB	2,94	1,64	
	Variante do Fojo	CEB	16,17	9,03	
	Av. Robert Smith	CENB	2,48	1,38	
	Av. Robert Smith	CEB	56,41	31,52	
	Maximinos	CENB	8,99	5,02	
	Maximinos	CEB	8,87	4,96	
mar/19	Estádio Municipal	CENB	14,58	8,15	175,14
	Estádio Municipal	CEB	18,34	10,25	
	Variante do Fojo	CENB	3,67	2,05	
	Variante do Fojo	CEB	10,78	6,02	
	Av. Robert Smith	CENB	4,95	2,77	
	Av. Robert Smith	CEB	45,13	25,21	
	Maximinos	CENB	8,99	5,02	
	Maximinos	CEB	5,92	3,31	
abr/19	Estádio Municipal	CENB	13,37	7,47	149,02
	Estádio Municipal	CEB	13,76	7,69	
	Variante do Fojo	CENB	2,94	1,64	
	Variante do Fojo	CEB	9,70	5,42	
	Av. Robert Smith	CENB	2,48	1,38	
	Av. Robert Smith	CEB	40,43	22,59	
	Maximinos	CENB	8,99	5,02	
	Maximinos	CEB	3,94	2,20	
mai/19	Estádio Municipal	CENB	17,01	9,51	192,91
	Estádio Municipal	CEB	19,26	10,76	
	Variante do Fojo	CENB	2,94	1,64	
	Variante do Fojo	CEB	12,93	7,23	
	Av. Robert Smith	CENB	3,71	2,08	
	Av. Robert Smith	CEB	51,71	28,89	
	Maximinos	CENB	10,27	5,74	
	Maximinos	CEB	5,92	3,31	

	Local de Saída	Escola	Gasóleo [kg CO <sub>2</sub> eq]	Gasolina [kg CO <sub>2</sub> eq]	Total [kg CO <sub>2</sub> eq]
jun/19	Estádio Municipal	CENB	10,94	6,11	147,08
	Estádio Municipal	CEB	13,76	7,69	
	Variante do Fojo	CENB	3,67	2,05	
	Variante do Fojo	CEB	7,54	4,22	
	Av. Robert Smith	CENB	2,48	1,38	
	Av. Robert Smith	CEB	43,25	24,16	
	Maximinos	CENB	3,85	2,15	
	Maximinos	CEB	8,87	4,96	

Para calcular as emissões anuais, multiplicou-se os valores diários mensais obtidos pelo número de dias do ano letivo (171 dias), e a partir desses valores obteve-se a média de emissões anuais para o período letivo de setembro 2018 a junho 2019.

Tabela 10 - Emissões médias anuais de CO<sub>2</sub> equivalente

Mês	Emissões anuais [kg CO <sub>2</sub> eq]	Emissões anuais [ton CO <sub>2</sub> eq]
set/18	39398,35	39,40
out/18	42643,86	42,64
nov/18	39263,89	39,26
dez/18	32693,42	32,69
jan/19	34630,94	34,63
fev/19	35138,25	35,14
mar/19	29949,10	29,95
abr/19	25481,19	25,48
mai/19	32986,80	32,99
jun/19	25151,14	25,15
<b>média de emissões anuais de CO<sub>2</sub></b>		<b>33,73</b>

Dessa forma, observa-se que no período letivo 2018/2019 a redução média de emissões alcançada foi de 33,73 ton de CO<sub>2</sub> eq/ano.

Tendo em vista a meta estabelecida de redução da emissão de gás carbónico de 3,14% frente ao cenário de referência (1650,98 ton de CO<sub>2</sub>/ano) apresentado em 6.1, constata-se que o programa School Bus atingiu uma redução média de 2,0% frente ao cenário de referência, que corresponde a 65,1% da meta prevista.

$$\text{Redução de Emissões School Bus} = \frac{33,73 \text{ ton CO}_2}{1650,98 \text{ ton CO}_2} = 2,0\%$$

Portanto, a partir do critério de avaliação estabelecido na Tabela 3 do subcapítulo 4.2, a intervenção School Bus teve seu resultado avaliado como “Médio”.

### 6.2.3. Passadeira inteligente com sistema Omniflow

Para avaliar a descarbonização gerada pelas passadeiras, a metodologia utilizada por Silva & Paiva (2019b) considerou a poupança gerada pela supressão de 2 lâmpadas de vapor de sódio com potência de 150 W que antes iluminavam a passadeira.

Sabendo-se que as lâmpadas de vapor de sódio funcionavam ininterruptamente de 20h às 7h todos os dias, isto é, 11 horas por dia, e, tendo em conta que o novo sistema de passadeira inteligente é autossustentável, é possível afirmar que a mudança gera uma poupança de 3,3 kWh/dia, se comparado à situação inicial.

$$\text{Poupança energética} = 150 \text{ W} \times 11 \text{ h/dia} \times 2 = 3,3 \text{ kWh/dia}$$

De acordo com o Decreto 102/2010, cada 1 kWh equivale a 0,47 kg CO<sub>2</sub> eq., gerando uma descarbonização diária de 1,551 kgCO<sub>2</sub>eq ou anual de 566,11 kgCO<sub>2</sub> eq.

$$\text{Redução} = 3,3 \text{ kWh/dia} \times 0,47 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kWh} = 1,551 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/dia}$$

Apesar do sistema Omniflow gerar e armazenar energia solar e eólica em quantidade superior à necessidade do sistema de passadeira durante o período avaliado, o saldo energético não foi contabilizado como descarbonização por não ter sido convertido em nenhum outro uso.

Não foram encontradas metas ou parâmetros de comparação para avaliar a descarbonização gerada por passadeiras inteligentes, de forma que decidiu-se avaliar o resultado da descarbonização gerada utilizando-se o mesmo tipo de avaliação adotada na intervenção 6.2.1 (Medidas Complementares em Mobilidade) e apresentada na Tabela 11.

Tabela 11 – Grade de avaliação dos objetivos da passadeira inteligente

Resultado percebido	Nota de avaliação
Atingiu o objetivo	1
Houve alguma melhoria	0,5
Indiferente / não é possível avaliar	0

Os sub-indicadores utilizados foram os objetivos a serem alcançados com a medida previstos no plano do Projeto BUILD, os quais são listados e avaliados na Tabela 12.

Tabela 12 - Avaliação e ponderação do resultado obtido pela passadeira inteligente com omniflow

Objetivos	Nota de avaliação	Peso	Score
Ser autossustentável	1	20%	0,20
Diminuir substancialmente os riscos de atropelamento e acidentes no local, aumentando o conforto e a segurança do peão, favorecendo o modo pedonal (em detrimento do carro).	0,5	80%	0,40
		<b>Total</b>	<b>0,60</b>

Tendo em vista que o principal objetivo da passadeira é aumentar a segurança nos atravessamentos, foram estabelecidos diferentes pesos para os objetivos.

Dessa forma, utilizando-se a **Equação 3-3** obteve-se a nota da intervenção igual a 0,60.

$$Score = (1 \times 0,2) + (0,5 \times 0,8) = 0,60$$

Para classificar o indicador utilizando a grade de avaliação estabelecida na Tabela 3 do subcapítulo 4.2, fez-se a normalização do score através da **Equação 3-1**, obtendo-se como resultado a nota de avaliação de 3 que equivale à classificação “Médio”.

$$Nota\ final\ de\ avaliação = \frac{(0,6 - 0)}{(1 - 0)} * 5 = 3,0$$

As justificativas para as notas de avaliação dadas aos sub-indicadores, bem como sugestões para melhoria desta intervenção serão abordadas no subcapítulo 7.2.3.

#### 6.2.4. Iluminação pública eficiente e inteligente

Não há informações disponíveis sobre a redução da necessidade de energia, e por consequência da emissão de CO<sub>2</sub>, decorrente da troca das 70 lâmpadas de vapor de sódio por luminárias LED com controlo de fluxo luminoso.

Assim sendo, a metodologia utilizada por Silva & Paiva (2019b) para prever a descarbonização da iluminação pública considerou que o sistema de iluminação instalado seria autossustentável, e por isso, seguindo-se o mesmo raciocínio apresentado no item anterior, contabilizou-se a poupança gerada pelo uso diário das 70 lâmpadas de vapor de sódio, cuja potência é de 150W, no período de 20h às 07h, em termos de consumo energético, conforme apresentado abaixo.

$$\text{Poupança energética} = 150 \text{ W} \times 11 \text{ h/dia} \times 70 = 115,5 \text{ kWh/dia}$$

No entanto, sabe-se que o atual sistema implantado não é autossustentável, o que gera a necessidade de um fator de correção ao valor de poupança energética acima obtido.

Conforme abordado no subcapítulo 2.5.2.2, a troca da iluminação pública com tecnologia em vapor de sódio por iluminação utilizando lâmpadas LED pode gerar uma redução entre 20% e 50% do consumo energético, a depender das características das lâmpadas de vapor de sódio e das lâmpadas LED utilizadas, podendo haver ainda uma poupança adicional de 20 a 30% quando utilizados sistemas inteligentes de controlo do fluxo luminoso. Dessa forma, este estudo considerará uma redução média de 35% decorrente da troca das lâmpadas de vapor de sódio por LED e uma redução média adicional de 25% pelo fato do sistema implementado possuir controlo de fluxo luminoso, o que totaliza 60% de economia energética.

$$\text{Poupança energética com fator de 60\%} = 0,6 \times 115,5 \text{ kWh/dia} = 69,3 \text{ kWh/dia}$$

Na sequência, converteu-se a poupança energética obtida em dióxido de carbono equivalente, tendo em consideração o Decreto 102/2010, onde cada 1 kWh equivale a 0,47 kg CO<sub>2</sub> eq.

$$\text{Redução diária} = 69,3 \text{ kWh/dia} \times 0,47 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kWh} = 32,57 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/dia}$$

$$\text{Redução anual} = 32,57 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/dia} \times 365 \text{ dias} = 11,89 \text{ ton CO}_2 \text{ eq/ano}$$

Por não ter sido definida uma meta para essa intervenção no plano de implementação do projeto BUILD, considerou-se a meta europeia estabelecida pela Diretiva 2012/27/EU, a qual estipula que se atinja até 2020 uma poupança de 20% do consumo de energia frente às projeções.

Seguindo-se o critério apresentado no subcapítulo 4.2, como o resultado obtido pela intervenção superou a meta, este indicador teve nota de avaliação igual a 5, que equivale à classificação “Muito bom”.

### **6.2.5. Melhoria da eficiência energética em edifícios**

Para avaliar o desempenho termo-energético do edifício alvo da intervenção, Machado (2019a) utilizou um programa de simulação dinâmica do desempenho térmico de edifícios. Os dados utilizados foram baseados na construção existente e no perfil de utilização do espaço. Dada a inexistência de histórico de dados climático dos últimos 30 anos na cidade de Braga, o modelo foi alimentado com

dados da região mais próxima, a cidade do Porto. As condições de conforto térmico do edifício foram avaliadas através de inquéritos aos ocupantes utilizando o modelo de conforto térmico adaptativo definido na normativa *ASHRAE Standard 55 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, a qual estabelece os limites de variação das condições ambientais internas de um edifício para se atingir conforto térmico aceitável aos ocupantes. Os resultados obtidos com a intervenção em termos de eficiência energética e conforto térmico serão discutidos posteriormente no subcapítulo 7.2.5.

Para medir a descarbonização gerada pelas medidas de reforço do isolamento térmico e da melhoria das condições de sombreamento dos vãos envidraçados implementadas no edifício da Escola das Enguardas, Silva & Paiva (2019b) utilizaram os resultados do modelo de Machado (2019a) sobre as necessidades de aquecimento e arrefecimento do edificado antes e após a intervenção, e converteram a redução energética alcançada em quilogramas de dióxido de carbono equivalente, obtendo os resultados apresentados abaixo.

Tabela 13 - Necessidade energética antes e após a intervenção em eficiência energética

Antes da Intervenção		Após a Intervenção	
Necessidade de Aquecimento (kWh/ano)	Necessidade de Arrefecimento (kWh/ano)	Necessidade de Aquecimento (kWh/ano)	Necessidade de Arrefecimento (kWh/ano)
22539,67	2839,95	20552,06	2233,03

Considerando-se o Decreto 102/2010, onde cada 1 kWh equivale a 0,47 kg CO<sub>2</sub> eq, tem-se que:

Tabela 14 - Necessidade carbónica antes e após a intervenção em eficiência energética

Antes da Intervenção		Após a Intervenção	
Necessidade de Aquecimento (ton. CO <sub>2</sub> eq/ano)	Necessidade de Arrefecimento (ton. CO <sub>2</sub> eq/ano)	Necessidade de Aquecimento (ton. CO <sub>2</sub> eq/ano)	Necessidade de Arrefecimento (ton. CO <sub>2</sub> eq/ano)
10,59	1,33	9,66	1,05

Portanto, a redução gerada em termos energéticos e em descarbonização, por tipo de procura é de:

Tabela 15 - Redução alcançada com a intervenção em eficiência energética

	Redução gerada (kWh/ano)	Redução gerada (ton. CO <sub>2</sub> eq)	% de redução de CO <sub>2</sub>
Aquecimento	1987,61	0,93	8,82%
Arrefecimento	606,92	0,29	21,37%
<b>TOTAL</b>	<b>2594,53</b>	<b>1,22</b>	<b>10,22%</b>

A meta estabelecida para esta intervenção no plano do projeto BUILD era reduzir em 30% as emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes do consumo energético do edifício. Comparando-se o antes e o depois da intervenção, observa-se que a redução alcançada foi de 10,22% das emissões de gás carbono, o que equivale a 34% da meta estabelecida.

Considerando-se o critério apresentado na grade de avaliação estabelecida na Tabela 3 do subcapítulo 4.2, este indicador teve nota de avaliação 2, que equivale à classificação “Fraco”.

### **6.2.6.Melhoria da eficiência hídrica em edifícios**

Para calcular a poupança de água obtida com o sistema SAAP, Machado (2019b) utilizou informações de precipitação média mensal para um período de 30 anos (2011-2040), as características dos equipamentos sanitários servidos (bacias de retrete de 9 litros com descarga simples e urinóis), características de utilização (média de quatro descargas por dia e por utilizador), o número de utilizadores na escola (166 pessoas) e a duração do período escolar. Descontadas as possíveis perdas relativas a retenções, absorções e desvios das primeiras águas, concluiu-se que o sistema SAAP instalado é capaz de suprir cerca de 38% do consumo anual de água para abastecimento dos equipamentos sanitários da escola, que corresponde a uma poupança de 485 m<sup>3</sup>/ano de água potável.

Para calcular a descarbonização obtida com a captação e uso de águas pluviais no edificado, Silva & Paiva (2019b) basearam-se nos custos energéticos unitários de abastecimento de água no município de Braga disponibilizados pela AGERE – Empresa de Aguas, Efluentes e Resíduos de Braga. De acordo com os dados de 2016, o custo energético para captação, tratamento, adução e distribuição foi de 0,975 kWh/m<sup>3</sup>. Considerando-se que o volume de águas pluviais captado pelo reservatório (485 m<sup>3</sup>/ano) deixará de ser exigido do sistema de abastecimento municipal, alcança-se uma poupança de 472,88 kWh/ano, ou, utilizando-se o fator de conversão de 0,47 kg CO<sub>2</sub>/, uma poupança de 222,25 kg CO<sub>2</sub> eq/ano, conforme apresentado abaixo.

$$Poupança\ energética = 0,975\ kWh/m^3 \times 485\ m^3/ano = 472,88\ kWh/ano$$

$$Poupança\ CO2 = 472,88\ kWh/ano \times 0,47\ kgCO2\ eq/kWh = 222,25\ kg\ CO2\ eq/ano$$

De acordo com o guia prático “AquaXperience” (ADENE & EPAL, 2017) desenvolvido pela ADENE – Agência para Energia e pela EPAL – Empresa Portuguesa de Águas Livres, SA., o conjunto de medidas de eficiência hídrica em edifícios proporcionam poupanças de pelo menos 30% de água,

podendo chegar a 45% quando opta-se também por produtos e sistemas de utilização de água mais eficientes, como é o caso do sistema de captação de águas pluviais.

Como o plano do projeto BUILD não estabeleceu uma meta para a intervenção, considerou-se o valor médio de 37,5% apresentado pela ADENE como a meta a ser atingida.

Tendo em vista que a intervenção para melhoria da eficiência hídrica obteve uma redução de 38% no consumo de água tratada, atingindo a meta estabelecida, classificou-se o resultado alcançado com a nota de avaliação 5, que equivale à classificação “muito bom”, conforme a grade de avaliação estabelecida na Tabela 3 do subcapítulo 4.2.

### **6.2.7. Programa Conexão Mais Cidadania e ações para uma mobilidade sustentável**

As ações voltadas às pessoas têm como objetivo final a mudança de comportamento, hábitos e escolhas. Portanto, essas ações agem como catalisadores das demais intervenções e também podem ter a função de pressionar os entes públicos e as empresas para mudanças necessárias, como por exemplo a necessidade de melhorar a oferta de transportes públicos ou de se desenvolver produtos com menor pegada ecológica.

Quando analisadas as ações voltadas às pessoas realizadas durante o período do projeto (descritas no subcapítulo 5.2.7), observa-se que a maior parte delas teve como foco a área da mobilidade, enquanto as ações previstas no plano do projeto BUILD para as áreas de vias públicas e edificado ainda se encontram em fase de desenvolvimento. Por esse motivo, para este estudo, o impacto para a descarbonização decorrente das ações voltadas às pessoas nas áreas de vias públicas e edificado será considerado como não sendo possível de avaliar.

Para estimar a redução nas emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes das intervenções voltadas às pessoas na área de mobilidade foi considerado o estudo desenvolvido por Souza (2019). Numa primeira fase o estudo utilizou a metodologia de Lopez-Ruiz et al. (2013), adaptada às características da área BUILD, para dimensionar o potencial mínimo e máximo de redução por ano que as medidas poderiam atingir. Em seguida, para avaliar o resultado atingido pelas medidas, foi estabelecido que cada criança que, ao final das atividades realizadas nas escolas demonstrasse a vontade de aderir a um modo de transporte mais sustentável no trajeto casa-escola (43 crianças de um total de 142), bem como cada residente que, após os inquéritos, declarou a vontade de mudar para um modo de transporte menos poluente (33 residentes de um total de 59), equivaleria a um veículo ligeiro a menos na área BUILD.

A tabela abaixo apresenta os resultados obtidos no estudo de Souza (2019), onde constata-se que as intervenções realizadas atingiram 46,5% do potencial médio de redução de emissões de CO<sub>2</sub>.

Tabela 16 - Potencial de descarbonização das medidas voltadas às pessoas na área de mobilidade, de acordo com Souza (2019)

Projeto BUILD		
Valores obtidos com a intervenção (ton. CO2 eq/ano)	Potencial de Redução de Emissões de CO2 (ton. Co2/ano)	
	mínimo	máximo
15,8	30	38

De forma a avaliar o desempenho da descarbonização obtida com as intervenções voltadas às pessoas, foi utilizada a grade de avaliação utilizada nos resultados obtidos nas intervenções 6.2.1 e 6.2.3 (Medidas complementares em mobilidade e Passadeira inteligente com sistema Omniflow), conforme apresentado a seguir:

Tabela 17 - Grade de avaliação dos objetivos das medidas complementares

Resultado percebido	Nota de avaliação
Atingiu o objetivo	1
Houve alguma melhoria	0,5
Indiferente / não é possível avaliar	0

A nota de avaliação atribuída a cada uma das áreas de atuação é apresentada na Tabela 18:

Tabela 18 – Resultado da avaliação obtidas pelas intervenções voltadas às pessoas

Intervenções voltadas às Pessoas	Nota de avaliação
Mobilidade	0,5
Vias Públicas	0
Edificado	0

Para classificar os indicadores utilizando a grade de avaliação estabelecida na Tabela 3 do subcapítulo 4.2, fez-se a normalização das notas através da **Equação 3-1**:

$$\text{Nota final de avaliação (Pessoas Mobilidade)} = \frac{(0,5 - 0)}{(1 - 0)} * 5 = 2,5$$

$$\text{Nota final de avaliação (Pessoas Vias Públicas)} = \frac{(0 - 0)}{(1 - 0)} * 5 = 0$$

$$\text{Nota final de avaliação (Pessoas Edificado)} \frac{(0 - 0)}{(1 - 0)} * 5 = 0$$

A nota de avaliação atribuída ao indicador Pessoas Mobilidade foi arredondada para 3, que equivale à classificação “médio”

Como o resultado obtido pelos indicadores Pessoas Vias Públicas e Pessoas Edificado foi igual a zero, portanto, igual ao Rmin da **Equação 3-1**, a nota de avaliação atribuída foi 1, que equivale à classificação “muito fraco”.

### 6.3. Agregação de indicadores com simulação de cenários

De forma resumida, a Tabela 19 apresenta os resultados da avaliação multicritério de todos os indicadores, conforme a grade de avaliação estabelecida na Tabela 3 do subcapítulo 4.2.

Tabela 19 – Resumo dos resultados dos indicadores da avaliação multicritério

Setor	Indicador	Nota de Avaliação
<b>Mobilidade</b>	Medidas Complementares	4
	School Bus	3
	Pessoas Mob.	3
<b>Vias Públicas</b>	Passadeira Inteligente	3
	Iluminação Pública Eficiente	5
	Pessoas VP	1
<b>Edificado</b>	Eficiência energética	2
	Eficiência hídrica	5
	Pessoas Edif.	1

Com o objetivo de avaliar o resultado da descarbonização do projeto BUILD como um todo, bem como o desempenho de cada setor, faz-se necessário estabelecer a combinação de indicadores, de forma a permitir a sua agregação.

Conforme abordado no capítulo 3, são várias as possibilidades de agregação. Visando uma avaliação nem tão otimista, nem tão pessimista, procedeu-se ao desenvolvimento de 4 formas de avaliação, conforme descritas abaixo, que se desdobram em um total de 8 cenários, cujos detalhes são apresentados no ANEXO I.

#### **Formas de avaliação utilizadas**

- Ponderação igual entre indicadores e entre setores (cenário 1);
- Exclusão dos indicadores relacionados às pessoas (peso = 0), ponderação igual entre os demais indicadores e entre setores (cenário 2);

- Ponderação igual entre indicadores, mas diferente entre setores (cenários 3, 4 e 5); e
- Exclusão dos indicadores relacionados às pessoas (peso = 0), ponderação igual entre os demais indicadores, mas diferente entre setores (cenários 6, 7 e 8).

Para a escolha das ponderações a serem utilizadas nos diferentes setores, pensou-se em utilizar o resultado de um inquérito aplicado a investigadores e especialistas na área, numa espécie de ponderação colaborativa. No entanto, devido à limitação de tempo deste estudo, optou-se por simular cenários onde o peso do setor principal fosse substancial (70%) e onde demais setores recebessem igual peso (15%), isso porque, conforme se depreende na literatura abordada no capítulo 2, não há consenso sobre qual desses setores exerce maior impacto na descarbonização.

Para efeito de comparação, serão mantidas as casas decimais das notas de avaliação dos setores. No entanto, para efeito de classificação final, utilizando a grade de avaliação estabelecida na Tabela 3 do subcapítulo 4.2, será realizado o arredondamento da nota.

### **Cenário 1:**

Neste cenário todos os indicadores possuem igual peso e a nota de cada setor é obtido a partir da soma dos seus indicadores e posterior normalização. A nota de avaliação do projeto BUILD é obtida utilizando-se o mesmo raciocínio.

*Tabela 20 - Resumo dos resultados obtidos no cenário 1*

<b>Setor</b>	<b>Avaliação do Setor</b>
Mobilidade	<b>3,3</b>
Vias Públicas	<b>3,0</b>
Edificado	<b>2,7</b>
<b>Projeto BUILD</b>	<b>3,0</b>

### **Cenário 2**

Neste cenário considerou-se que as intervenções voltadas às pessoas possuem peso 0, portanto serão excluídas. Isso decorre do fato de não haver informações que permitam a avaliação deste indicador em dois dos três setores (vias públicas e edificado), o que acaba por penalizá-los. As demais intervenções mantêm peso igual, assim como os setores.

Tabela 21 - Resumo dos resultados obtidos no cenário 2

<b>Setor</b>	<b>Avaliação do Setor</b>
Mobilidade	<b>3,5</b>
Vias Públicas	<b>4,0</b>
Edificado	<b>3,5</b>
<b>Projeto BUILD</b>	<b>3,7</b>

**Cenário 3:**

Neste cenário todos os indicadores possuem igual peso, mas o setor de Mobilidade é considerado o mais relevante na descarbonização do projeto, portanto, recebe a ponderação de 70%.

Tabela 22 - Resumo dos resultados obtidos no cenário 3

<b>Setor</b>	<b>Avaliação do Setor</b>	<b>Peso do Setor</b>	<b>Score</b>
Mobilidade	<b>3,3</b>	70%	2,3
Vias Públicas	<b>3,0</b>	15%	0,5
Edificado	<b>2,7</b>	15%	0,4
		<b>Projeto BUILD</b>	<b>3,2</b>

**Cenário 4:**

Neste cenário todos os indicadores possuem igual peso, mas o setor de Vias Públicas é considerado o mais relevante na descarbonização do projeto, portanto, recebe a ponderação de 70%.

Tabela 23 - Resumo dos resultados obtidos no cenário 4

<b>Setor</b>	<b>Avaliação do Setor</b>	<b>Peso do Setor</b>	<b>Score</b>
Mobilidade	<b>3,3</b>	15%	0,5
Vias Públicas	<b>3,0</b>	70%	2,1
Edificado	<b>2,7</b>	15%	0,4
		<b>Projeto BUILD</b>	<b>3,0</b>

**Cenário 5:**

Neste cenário todos os indicadores possuem igual peso, mas o setor de Edificado é considerado o mais relevante na descarbonização do projeto, portanto, recebe a ponderação de 70%.

Tabela 24 - Resumo dos resultados obtidos no cenário 5

<b>Setor</b>	<b>Avaliação do Setor</b>	<b>Peso do Setor</b>	<b>Score</b>
Mobilidade	<b>3,3</b>	15%	0,5
Vias Públicas	<b>3,0</b>	15%	0,5
Edificado	<b>2,7</b>	70%	1,9
<b>Projeto BUILD</b>			<b>2,8</b>

**Cenário 6:**

Neste cenário considerou-se que as intervenções voltadas às pessoas possuem peso 0, portanto serão excluídas, pelo mesmo motivo apresentado no Cenário 3. No entanto, neste cenário o setor de Mobilidade é considerado o mais relevante na descarbonização do projeto, portanto, recebe a ponderação de 70%.

Tabela 25 - Resumo dos resultados obtidos no cenário 6

<b>Setor</b>	<b>Avaliação do Setor</b>	<b>Peso do Setor</b>	<b>Score</b>
Mobilidade	<b>3,5</b>	70%	2,5
Vias Públicas	<b>4,0</b>	15%	0,6
Edificado	<b>3,5</b>	15%	0,5
<b>Projeto BUILD</b>			<b>3,6</b>

**Cenário 7:**

Neste cenário considerou-se que as intervenções voltadas às pessoas possuem peso 0, portanto serão excluídas, pelo mesmo motivo apresentado no Cenário 3. No entanto, neste cenário o setor de Vias Públicas é considerado o mais relevante na descarbonização do projeto, portanto, recebe a ponderação de 70%.

Tabela 26 - Resumo dos resultados obtidos no cenário 7

<b>Setor</b>	<b>Avaliação do Setor</b>	<b>Peso do Setor</b>	<b>Score</b>
Mobilidade	<b>3,5</b>	15%	0,5
Vias Públicas	<b>4,0</b>	70%	2,8
Edificado	<b>3,5</b>	15%	0,5
<b>Projeto BUILD</b>			<b>3,9</b>

**Cenário 8:**

Neste cenário considerou-se que as intervenções voltadas às pessoas possuem peso 0, portanto serão excluídas, pelo mesmo motivo apresentado no Cenário 3. No entanto, neste cenário o setor de Edificado é considerado o mais relevante na descarbonização do projeto, portanto, recebe a ponderação de 70%.

*Tabela 27 - Resumo dos resultados obtidos no cenário 8*

<b>Setor</b>	<b>Avaliação do Setor</b>	<b>Peso do Setor</b>	<b>Score</b>
Mobilidade	<b>3,5</b>	15%	0,5
Vias Públicas	<b>4,0</b>	15%	0,6
Edificado	<b>3,5</b>	70%	2,5
<b>Projeto BUILD</b>			<b>3,6</b>

## **7. Resultados e discussão**

Neste capítulo serão discutidos os resultados da avaliação multicritério apresentada no capítulo 6. Serão também analisadas cada uma das intervenções realizadas no âmbito do projeto BUILD separadamente, as quais foram utilizadas como indicadores na metodologia de avaliação.

### **7.1. Sobre os cenários de avaliação multicritério**

Foram realizadas 4 formas de agregação dos indicadores e dos setores. Neles foi possível simular cenários para avaliar a descarbonização a nível dos setores (Mobilidade, Vias Públicas e Edificado) e o desempenho global da descarbonização do projeto BUILD neste primeiro ano de implementação.

No cenário 1, onde todas as intervenções tiveram igual peso para a descarbonização, observa-se que o setor mais bem avaliado é o da Mobilidade, e o projeto BUILD atinge avaliação de desempenho 3, de acordo com a grade de avaliação da Tabela 3 definida no subcapítulo 4.2, que equivale à classificação “Médio”.

Mesmo nos cenários onde se considera que um determinado setor tem maior impacto que os demais para a descarbonização (Cenários 3, 4 e 5), o projeto BUILD mantém-se com nota de avaliação 3 e classificação “Médio”.

No entanto, quando se refaz esses mesmos cenários excluindo os resultados das intervenções voltadas às pessoas, observa-se um resultado diferente.

A simulação dos cenários com a exclusão dessas intervenções se dá, não porque elas sejam menos importantes que as demais, mas pelo fato dos dados disponíveis para avaliação quando esse estudo foi realizado serem apenas relacionados ao setor de mobilidade, o que acaba por gerar uma penalização na avaliação dos setores de Vias Públicas e Edificado.

Nessa nova simulação (Cenário 2), onde os setores e as intervenções têm igual peso (excluindo-se as intervenções voltadas às pessoas), observa-se que o setor mais bem avaliado passa a ser Vias Públicas, seguido de Mobilidade e Edificado (com igual avaliação), e o projeto BUILD atinge nota de avaliação 4, que equivale à classificação “Bom”.

Observa-se ainda que mesmo quando são definidos diferentes pesos para os setores (Cenários 6, 7 e 8), considerando-se que estes teriam um impacto mais relevante na descarbonização do que os demais, ainda assim o projeto BUILD se mantém com nota de avaliação 4 e classificação “Bom” em todos os cenários.

Tendo em vista a falta de dados sobre intervenções voltadas às pessoas que permita avaliar de forma equitativa todos os setores, parece mais correta a avaliação do projeto BUILD pelos cenários 2,

6, 7 e 8, o que leva à uma classificação final do desempenho da descarbonização alcançada pelo projeto BUILD no primeiro ano como boa, ou com nota de avaliação 4, numa escala que varia de 1 a 5.

Quando se compara o desempenho das intervenções de todos os setores, utilizando-se a metodologia proposta, observa-se que aquelas que tiveram melhor avaliação foram “Iluminação Pública Eficiente e Inteligente” e “Melhoria da Eficiência Hídrica em Edifícios”, ambas tendo atingido ou superado a meta estabelecida.

Ressalta-se que o fato de serem melhor avaliadas não significa dizer que foram as que removeram ou que deixaram de produzir maior quantidade de GEE. Isso porque, a metodologia proposta analisa o resultado em função da meta prevista, o que faz sentido diante de experimentos (intervenções) que tem escalas diferentes de atuação. Por exemplo, a intervenção School Bus atua em seis diferentes estabelecimentos de ensino, tendo impacto em toda a mobilidade da zona, enquanto a intervenção em eficiência hídrica foi instalada em apenas uma escola.

Em termos de números absolutos de descarbonização (toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente), baseada nos dados disponíveis nos relatórios de investigadores que participaram do projeto, e tendo em consideração que não há informação de todas as intervenções avaliadas, observa-se que a intervenção School Bus foi a que gerou maior descarbonização, com uma média anual de descarbonização de 33,73 ton de CO<sub>2</sub>eq.

## **7.2. Sobre os resultados obtidos em cada intervenção do BUILD**

A partir dos relatórios elaborados ao longo do período de implementação pelos diferentes *stakeholders* do projeto BUILD, bem como da literatura abordada no capítulo 2, é possível identificar benefícios e sugestões de melhoria para cada uma das intervenções, os quais serão abordados a seguir.

### **7.2.1. Medidas complementares em mobilidade**

Conforme relatado em Ribeiro et al. (2019b), a colocação de pilaretes delimitando vias e inibindo estacionamento abusivo obteve êxito na redução dessas infrações. No entanto mesmo após a implementação da faixa bus (delimitada também por pilaretes), ainda se observam motoristas a ocupar a faixa enquanto deixam seus educandos nos estabelecimentos de ensino ou acedem a serviços na zona envolvente, obrigando os autocarros a esperar.

Com relação às áreas “Kiss & Go”, antes da implementação era comum o estacionamento nas imediações da passadeira. E, os encarregados de educação que estacionavam de forma correta,

acabavam por levar mais tempo no processo de estacionar e deixar os alunos na escola, dada a maior distância percorrida. Apesar da melhoria na dinâmica de largada e recolha dos alunos, o espaço destinado ao “Kiss & Go” tem vindo a ser utilizado de forma indevida como estacionamento, ou ainda utilizado como área de paragem por 10, 15 minutos, enquanto aguarda-se o horário de saída das escolas. Com as vagas ocupadas, os demais encarregados de educação acabam por estacionar em segunda fila.

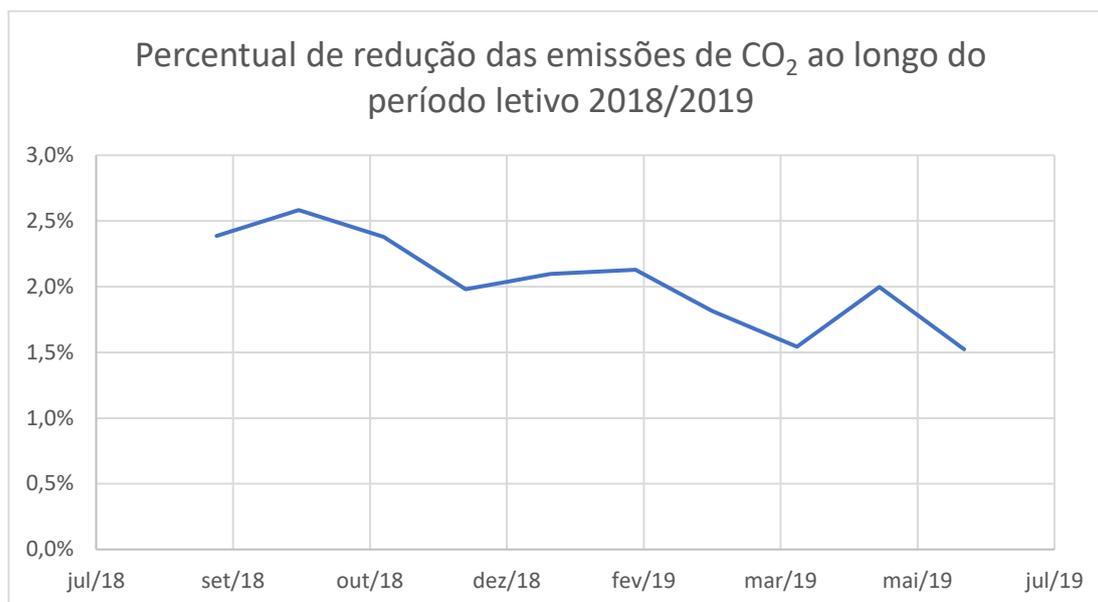
Conclui-se que as medidas implementadas podem ter um desempenho melhor se forem realizadas medidas de sensibilização dos motoristas e fiscalização, de modo a inibir as irregularidades que ocorrem.

### **7.2.2. Programa School Bus:**

O programa School Bus é muito bem avaliado pelos alunos que o utilizam e pelos seus encarregados de educação, tendo sido observados outros benefícios para além dos previstos no programa, como o desenvolvimento de competências sociais nos alunos, nomeadamente, uma maior autonomia das crianças, além de uma maior interação e socialização entre elas. Destaca-se também o impacto das atividades desenvolvidas no âmbito da intervenção “Conexão Mais Cidadania e Ações para uma mobilidade mais sustentável”, que refletem numa maior conscientização das crianças sobre mobilidade sustentável, sendo a preocupação com o meio ambiente, uma das razões alegadas por elas para aderirem ao programa. Os diretores dos estabelecimentos de ensino destacam ainda outros benefícios percebidos, nomeadamente, a pontualidade na chegada à escola e a boa disposição dos alunos (se comparados àqueles que vem de carro).

De acordo com inquérito realizado por Ribeiro et al. (2019a), o projeto pode ter efeitos positivos para além do âmbito escolar, dado que a maior parte dos encarregados de educação inquiridos afirma ter alterado os hábitos de mobilidade familiar, apesar de, com os dados existentes, não ser possível mensurar as modificações ocorridas e em que âmbito.

Com os dados gerados no School Bus é possível verificar que a descarbonização obtida no primeiro do ano do projeto (ano letivo 2018/2019) não atingiu a meta prevista no plano inicial do BUILD (redução de 3,14%), tendo sido observada uma descarbonização total de 65,1% da meta, que equivale a uma redução média mensal de 2% nas emissões de CO<sub>2</sub> equivalente. Os períodos de menor descarbonização foram observados em março/19 e junho/19, que coincidem com períodos de pausas letivas. O principal ponto de preocupação, no entanto, é a tendência decrescente de utilização ao longo do período avaliado, como pode ser visto na Figura 33.



*Figura 33 - Percentual de redução das emissões ao longo do período School Bus 2018/2019*

A partir do relatório de acompanhamento do projeto (Ribeiro et al., 2019a) é possível identificar alguns dos motivos que podem ter contribuído para uma adesão abaixo do previsto e para o decréscimo da utilização do School Bus ao longo do período letivo 2018/2019, bem como sugestões que podem auxiliar no aumento dessa adesão. Destacam-se:

- A resistência por parte dos encarregados de educação em aderir ao projeto, face à comodidade e à cultura do uso do automóvel;
- A inexistência de um equipamento físico nas interfaces de recolha que resguarde as crianças enquanto aguardam pelo autocarro;
- A possibilidade de incluir mais pontos de paragem nos trajetos entre as interfaces e os estabelecimentos de ensino, de forma a não gerar aglomerações nas interfaces e, por consequência, novos pontos de congestionamento. Sugere-se tomar como exemplo projetos existentes na região, nomeadamente o serviço de transporte de alunos entre o Campus de Braga – Gualtar e o Campus de Guimarães (Azurém) da Universidade do Minho, e o serviço de transporte de alunos do estabelecimento de ensino ALFACOOOP, em Ruilhe (concelho de Braga);
- A necessidade de reavaliação da localização de duas das interfaces (onde há baixa adesão de alunos) e a possibilidade de implementar novas interfaces, nomeadamente em Gualtar e junto ao Shopping Braga Parque;

- A possibilidade de abranger mais ciclos de estudo (pré-escola e secundário). Sendo este um dos alegados motivos de não adesão por encarregados de educação que possuem educandos em idade escolar que frequentam diferentes ciclos;
- O impedimento de utilização do School Bus por crianças que não residam no concelho de Braga;
- O desenvolvimento de um plano de melhoria da iluminação e segurança rodoviária no entorno das interfaces de recolha, visando incentivar os modos suaves de deslocação no trajeto casa - interface de recolha; e
- A melhoria da rede de transportes públicos TUB para o regresso à casa com linhas que atendam diretamente o trajeto entre as escolas e as interfaces, sem necessidade de troca de autocarro, ou ainda, a opção de implementar o School Bus para o regresso dos alunos à casa.

No que diz respeito à utilização do School Bus ao longo do ano letivo, segregando os alunos por escola, observa-se que há um predomínio de alunos pertencentes ao Colégio Dom Diogo de Souza, como pode ser observado no gráfico da Figura 34.

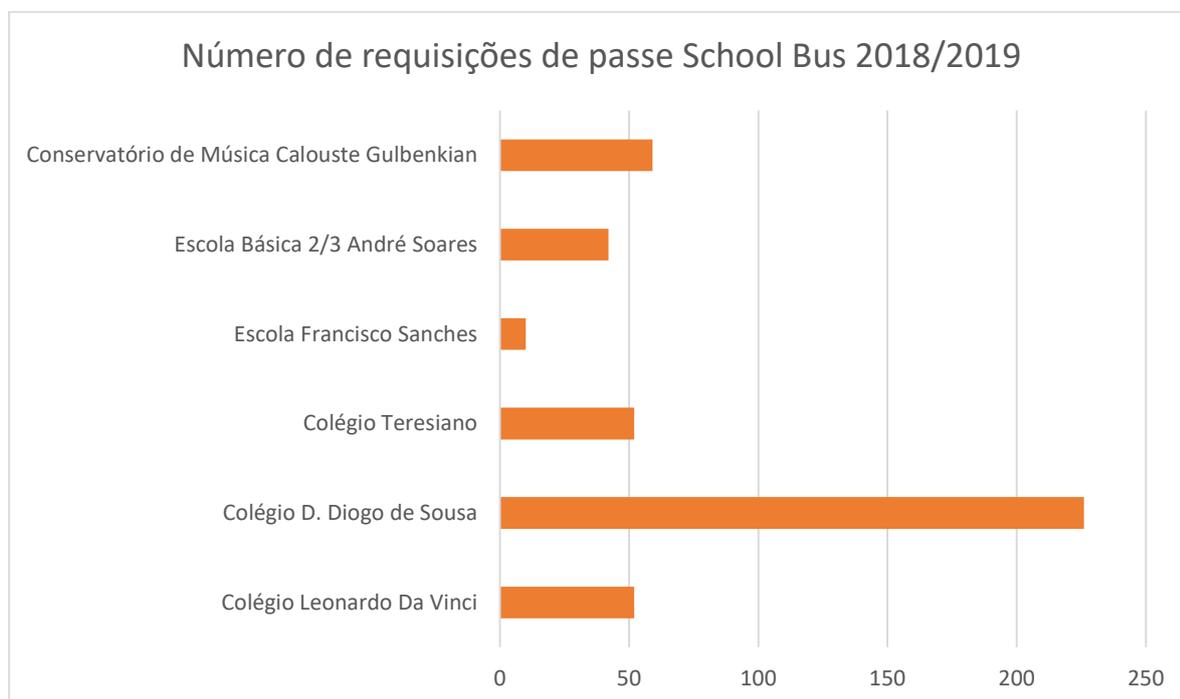


Figura 34 - Adesão ao Projeto School Bus por instituição de ensino

De acordo inquéritos realizado com o Diretor da Escola EB 2,3 Francisco Sanches (Ribeiro et al., 2019a), a baixa adesão nesta escola deve-se à proximidade da escola ao local de residência dos alunos (uma característica comum às escolas públicas), o que permite que várias crianças habitualmente se desloquem à pé ou com transporte público, tornando o programa pouco aliciente para este público-

alvo. Já o Diretor da Colégio Dom Diogo de Souza credita a forte adesão da comunidade escolar desta instituição ao trabalho de divulgação e conscientização realizado internamente e em parceria com o projeto BUILD (intervenção “Conexão + Cidadania”).

Diante disso, sugere-se como uma nova etapa do BUILD, dentro do conceito de *Living Lab*, a experimentação do sistema de percurso pedonal acompanhado por monitores semelhante ao já abordado nos planos de mobilidade escolar (subcapítulo 2.5.2.1). Esta medida já havia sido prevista no plano inicial do projeto BUILD, com o nome de PeddyBus (Câmara Municipal de Braga, 2017) e tende a ser potencializada pelas já implementadas medidas de segurança rodoviária em conjunto com ações de consciencialização voltadas ao público escolar desenvolvidas no âmbito da intervenção “Conexão + Cidadania e ações para uma mobilidade sustentável”. Destaca-se que, neste caso, o ganho almejado é a utilização de modos suaves de deslocação por mais crianças, inculcando esse hábito desde cedo. É possível que haja também alguma redução de veículos automóveis na zona, considerando que algumas destas crianças são transportadas de carro até as escolas pelos seus encarregados de educação.

No que compete aos colégios, sugere-se a manutenção das atividades de sensibilização e de promoção do projeto junto a estas comunidades escolares no sentido de aumentar as adesões e de perceber os pontos a serem melhorados.

Diante do exposto, depreende-se que a longo prazo o projeto tem potencial para aumento dos resultados de descarbonização já alcançados, uma vez que os fatores apontados para não adesão são questões que podem ser resolvidas ou melhoradas. Trata-se de ajustes normais à implementação de novos projetos, nomeadamente projetos de inovação.

Em termos de estratégia ambiental e de mobilidade, o projeto permite uma redução imediata de um grande número de veículos na zona, reduzindo a poluição ambiental (sonora e atmosférica) e o congestionamento gerado em toda a envolvente.

Por se tratar de um processo de transição de comportamento, é natural que os resultados almejados não sejam obtidos a curto prazo, o que não diminui a importância da intervenção implementada, tampouco a necessidade de corrigir as eventuais falhas e de continuar a sensibilizar a população sobre o tema.

No que se refere à monitorização e avaliação dos resultados, é importante ressaltar que as melhorias no congestionamento na zona BUILD e a descarbonização alcançada foram mensuradas através de medições indiretas. Sendo interessante que, após a completa instalação e calibração dos

sensores ambientais e de contagem de veículos, que se encontram atualmente em fase de implementação, sejam analisados os dados gerados ao longo dos próximos anos. Isso permitirá:

- acompanhar a evolução do projeto School Bus e das eventuais melhorias implementadas no projeto BUILD;
- identificar novas necessidades de ajustes e melhorias; e
- avaliar de que forma a atual pandemia do novo coronavírus COVID-19 irá afetar a mobilidade local e a adesão ao projeto School Bus nos próximos anos.

### **7.2.3. Passadeiras inteligentes com sistema Omniflow**

Conforme atestado por Ribeiro et al. (2019b), após a implementação da passadeira inteligente não foi observado uma mudança significativa de comportamento dos peões.

Toda medida que envolve mudança de comportamento, tende a ter uma reposta a longo prazo, o que não é possível medir dado o pouco tempo decorrido da implementação. No entanto, neste caso, o local escolhido para instalação da passadeira parece não ter sido o mais adequado. Conforme observado *in situ*, o maior número de atravessamentos ocorre no horário diurno (em função das escolas e do comércio), sendo que esta intervenção tem função relevante no período do entardecer e noturno. Dessa forma, o ganho de descarbonização percebido até o momento é em função da economia energética e não das mudanças de comportamento na mobilidade.

No que compete ao atravessamento, os maiores benefícios parecem ser decorrentes da melhoria da iluminação e das medidas complementares que reduziram os estacionamento abusivos e proporcionaram o aumento da visibilidade do peão, ao permitir que este veja e seja visto.

Ressalta-se ainda que, mesmo após a instalação da passadeira inteligente, o atravessamento em hora de ponta continua a ser conflituoso, tendo sido necessária a presença da polícia municipal a regular o atravessamento de forma a gerar fluidez no trânsito.

De acordo com contagens realizadas (Ribeiro et al., 2019b), nos horários de entrada e saída dos estabelecimentos de ensino e no horário da pausa para almoço, a média de atravessamento é de 50 peões a cada 5 minutos, o que leva ao questionamento se a instalação de uma passadeira semaforizada não seria mais apropriada ao local.

Apesar de não ser considerada como uma medida adequada para o local onde foi implementada, entende-se que a intervenção tem grande potencial, que poderá ser verificado através de instalação experimental, em locais do concelho onde a necessidade de atravessamento no período do entardecer e noturno seja maior, por exemplo, na rotunda dos peões ou na rotunda da Universidade do Minho,

onde há grande afluência de estudantes inclusive no final do dia, ou ainda num dos atravessamentos da Ecovia do Rio Este, onde há um bom número de pessoas a praticar desporto em períodos de entardecer e noturno. Desta forma, a cidade beneficiar-se-á de dois tipos de descarbonização: aquela decorrente da redução do consumo energético e a decorrente do aumento dos modos suaves de deslocação ao tornar estes locais mais seguros para peões.

Por fim, propõe-se que, após quantificado o excedente de energia gerado pelo sistema de produção fotovoltaico e eólico, que deverá variar ao longo do ano em função das variações na radiação solar incidente e na velocidade do vento, o mesmo possa ser aproveitado de alguma forma ou incorporado na rede elétrica.

#### **7.2.4. Iluminação pública eficiente e inteligente**

Devido à limitação das informações disponíveis, o que dificulta a elaboração de maiores análises, ressalta-se a importância de se implementar o sistema de receção de dados de iluminação previsto no plano de implementação do BUILD, de forma a permitir a futura monitorização e acompanhamento do desempenho do sistema.

Sugere-se também que nas futuras etapas de instalação do sistemas inteligente de iluminação pública, sejam avaliados os níveis de luminescência ao dimensionar a troca de um sistema de lâmpadas de vapor de sódio para lâmpadas LED e que seja mantido o uso de controlos de fluxo luminoso, o que promove um aumento da redução energética e conseqüentemente da redução da emissão de CO<sub>2</sub>, conforme destaca Djuretic & Kostic (2018).

#### **7.2.5. Melhoria da eficiência energética em edifícios**

A melhoria da eficiência energética em edifícios, nomeadamente os edifícios escolares é uma medida muito positiva em diversos aspetos, não somente do ponto de vista de economia de energia, e conseqüente de redução de emissões de CO<sub>2</sub>, finalidade deste estudo, mas também do ponto de vista de saúde pública e de melhoria da educação. Isso porquê um maior conforto térmico proporciona um maior rendimento na aprendizagem, e a ausência de condensações nas escolas, leva a uma menor taxa de absentismo decorrente de doenças como asma e bronquite.

O fato de a descarbonização obtida na intervenção realizada ter sido menor do que era esperado, isto é, abaixo dos valores obtidos em estudos de casos semelhantes, parece ser decorrente da escolha dos tipos de intervenções a serem realizadas.

De acordo com as informações presentes em Câmara Municipal de Braga (2017) e Machado (2019a), observa-se que a intervenção foi implementada de forma diferente do inicialmente previsto, uma vez que o sistema ETICS e o reforço da cobertura, que deveriam ter no mínimo 8 cm e 12 cm de espessura respetivamente, acabaram por ser implementados com 4 cm e 6 cm, respetivamente. Da mesma forma, o sombreamento dos vãos envidraçados foi realizado com palas de sombreamento fixas ao invés dos estores de lâminas orientáveis de cor clara, como estava previsto.

A partir das informações disponíveis não é possível saber os motivos que levaram à alteração do plano inicial, nem afirmar se estas alterações contribuíram para que o resultado obtido fosse aquém do esperado.

No entanto, conforme abordado num estudo de Monteiro & Ramos (2007), a introdução de palas de sombreamento fixas reduz os ganhos solares pelos vãos envidraçados no inverno, o que pode ser compensado se a necessidade de arrefecimento do edifício for superior à de aquecimento. Todavia, de acordo com os dados obtidos no modelo de Machado (2019a), a situação no edifício da Escola das Enguardas é o oposto, sendo a necessidade de aquecimento (22539,67 kWh/ano) muito superior à necessidade de arrefecimento (2839,95 kWh/ano). O resultado obtido após a implementação da solução foi que, apesar de, na semana mais quente (onde a temperatura interior variou entre 21°C a 30°C), a temperatura nas salas do piso 0 terem uma redução de cerca de 2°C nas temperaturas máximas, na semana mais fria (onde as temperaturas interiores durante o horário letivo variaram de 11°C a 20°C), observou-se uma redução da temperatura interior máxima entre 0,6 e 0,9°, consequência da redução de ganhos solares devido ao sistema de sombreamento.

Após a intervenção realizada, as necessidades energéticas totais do edifício reduziram em 7% para necessidades de aquecimento e em 25% para necessidades de arrefecimento, o que não se traduziu em melhorias significativas no desempenho global do edifício, dado que a necessidade de aquecimento é muito maior que a de arrefecimento. De acordo com Machado (2019a), esse resultado também se deve ao fato da intervenção ter incidido maioritariamente no elemento construtivo da envolvente, que reponde por apenas 23% das perdas térmicas, ao passo que as perdas através dos vãos envidraçados respondem por 51% das perdas.

Em futuras reabilitações desse edifício, sugere-se a avaliação das janelas e caixilharias, dentre outras medidas que possam contribuir para reduzir as perdas energéticas através dos vãos envidraçados, proporcionando uma redução ainda maior de emissões de CO<sub>2</sub>.

### **7.2.6.Melhoria da eficiência hídrica em edifícios**

Apesar da intervenção ter um pequeno contributo a nível de descarbonização, a implementação da medida foi bem-sucedida, tendo a meta sido superada no que compete ao aumento da eficiência hídrica, o que possibilita a redução de emissões de gás carbônico, além de economia de água.

No entanto, é importante lembrar que um dos principais objetivos desta medida no plano do projeto BUILD era demonstrar à comunidade escolar e aos residentes os benefícios e a importância de ações indiretas para redução de CO<sub>2</sub> e, a longo prazo, estimular e capacitar a população para a instalação deste tipo de solução em casas e edifícios residenciais da região, permitindo alcançar impactos superiores.

Para que se atinja o objetivo de longo prazo de aumentar a eficiência hídrica no edificado da comunidade local, e dessa forma obtenha-se uma redução significativa de emissões de CO<sub>2</sub>, é necessário que sejam promovidas ações de:

- Divulgação dos benefícios ambientais e económicos que podem ser obtidos com a melhoria da eficiência hídrica;
- Divulgação dos resultados obtidos no SAAP da Escola das Enguardas, bem como o incentivo e capacitação para instalação de SAAP em outros edifícios da comunidade;
- Capacitação e incentivo de boas práticas de consumo consciente da água como a instalação de torneiras e sanitas com controlo de caudal, a aquisição de eletrodomésticos com maior eficiência hídrica, as reparações e reabilitações para evitar perdas e fugas de água na rede predial e o uso de sistemas de aquecimento de água quentes sanitárias (AQS) mais eficientes (exemplo: com recurso a painéis fotovoltaicos ou com circulação e retorno de águas quentes), como exemplificado na Figura 35; e
- Orientação para adesão a programas de participação como o Programa “Edifícios Mais Sustentáveis” lançado pelo Fundo Ambiental, que visa o financiamento de até 70% dos custos de medidas que promovam a reabilitação, a descarbonização, a eficiência hídrica e energética em edifícios residenciais construídos até ao final do ano de 2006.

No que compete à instalação nas demais escolas, sugere-se que além das recomendações acima mencionadas, sejam obtidos e monitorizados previamente os seguintes dados do sistema instalado na Escola das Enguardas: quantidade de água pluvial captada/ano e custos de manutenção e poupança total obtida (em euros e em emissões de carbono), de forma a perceber se o dimensionamento escolhido é o mais adequado ou se é possível obter ganhos maiores com a medida.

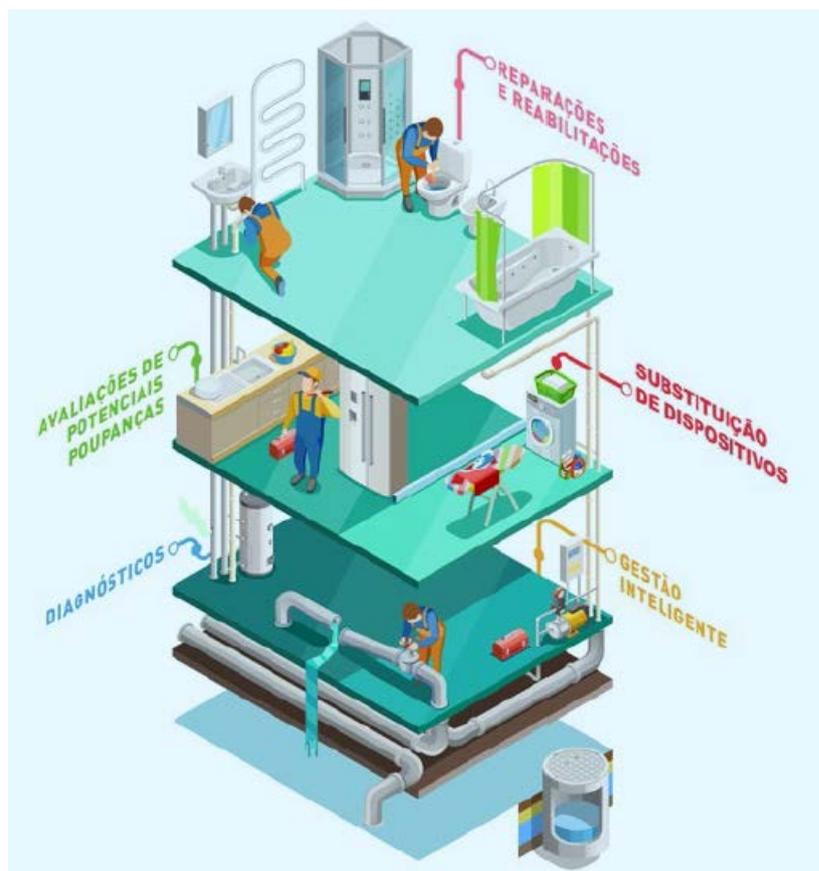


Figura 35 - Exemplo de outras ações para melhoria da eficiência hídrica em edifícios

### **7.2.7. Programa Conexão Mais Cidadania e ações para uma mobilidade sustentável**

Conforme observado no estudo de Souza (2019), as ações voltadas às pessoas na área de mobilidade tem potencial para gerar resultados ainda melhores do que aqueles já obtidos. O mesmo pode ser esperado das ações relacionadas a vias públicas e ao edificado.

A partir dos conceitos abordados nos subcapítulos 2.3 e 2.5.2.4, sugere-se que as atividades previstas no programa “Conexão + Cidadania”, como a Eco Semana e o Observatório do Cidadão, voltadas aos residentes e utilizadores da área BUILD sejam implementadas, testadas e aprimoradas. Tais atividades visam aumentar o entendimento sobre a necessidade da transição para uma modelo de cidade com baixa emissão de GEE, e auxiliar na mudança de percepção e comportamento, convidando a população a ser parte ativa nessa transição.

A aplicação para telemóvel prevista no projeto BUILD (Câmara Municipal de Braga, 2017), pode ser de grande valia para uma melhor comunicação entre a comunidade e a autarquia, inclusive podendo auxiliar no processo de participação e engajamento da população. Adicionalmente, pode

servir como fonte de dados ao utilizar informações geradas pelos próprios telemóveis dos cidadãos, se esses assim o permitirem.

No que compete à comunidade escolar, sugere-se a definição de um programa de longo prazo, tanto na capacitação dos professores, quanto nas atividades com os alunos, tendo em vista que a mudança de hábitos almejada é lenta e gradual, sendo necessário um trabalho contínuo.

## 8. Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia multicritério que permitisse a avaliação da descarbonização proporcionada pelo projeto BUILD, um laboratório vivo para descarbonização implementado na cidade de Braga, e que também auxiliasse nas futuras tomadas de decisão para escolha das intervenções a serem alargadas a outras zonas da cidade, visando a transição para um modelo urbano de baixa emissão carbónica.

A metodologia multicritério desenvolvida no estudo estabeleceu um modelo de árvore de decisão (Figura 9) e definiu o critério de avaliação, bem como os parâmetros de avaliação. Tal metodologia foi então aplicada ao estudo de caso. Nela, as intervenções realizadas no projeto BUILD foram utilizadas como indicadores de descarbonização, agrupados de acordo com os setores onde foram realizadas as intervenções, isto é, os setores de “Mobilidade”, “Vias Públicas” e “Edificado”. Dentre os indicadores utilizados, incluiu-se o indicador “Pessoas” em todos os setores, visando avaliar o impacto das ações de comunicação, sensibilização e participação voltadas à população residente e utilizadora da zona BUILD no resultado da descarbonização.

A partir dos dados disponíveis sobre cada intervenção, foi realizada a avaliação de cada indicador. Finalizada essa etapa, procedeu-se à agregação dos indicadores, através da simulação de diferentes cenários de agregação, visando encontrar um resultado nem tão conservador, nem tão otimista. Para tal, foram consideradas diferentes ponderações para setores e indicadores, num total de 8 cenários de agregação, a partir dos quais concluiu-se que:

- Independentemente do setor a receber maior peso, quando se define igual ponderação para as intervenções (indicadores), o resultado global de avaliação do projeto BUILD é sempre “média”, com nota 3, numa escala que varia de 1 a 5;
- Quando se desconsideram as intervenções voltadas às pessoas nas três áreas temáticas e se mantém igual peso para as demais intervenções, a avaliação do projeto BUILD passa a ser “boa”, com nota 4, numa escala que varia de 1 a 5, independentemente de um ou outro setor receber maior ponderação. Essa simulação fez-se necessária no sentido em que a avaliação da componente “Pessoas” foi afetada pela falta de dados relacionados aos setores “Vias Públicas” e “Edificado”, gerando uma nota mais baixa para essas duas intervenções e penalizando o resultado desses setores e do projeto como um todo.
- Por esse motivo, considera-se que a decisão mais acertada seja a de avaliar a descarbonização alcançada pelo projeto BUILD como “boa”, com nota 4 numa escala que varia de 1 a 5.

- No que compete às intervenções realizadas, observa-se que as mais bem avaliadas pela metodologia proposta foram “Iluminação Pública Eficiente e Inteligente” e “Melhoria de Eficiência Hídrica em Edifícios”, ambas tendo alcançado a meta prevista.
- Ressalta-se que a avaliação feita pela metodologia analisa o resultado alcançado em comparação à meta estabelecida, e não à quantidade de gás carbónico que se deixou de emitir.
- Ainda que não haja informação numérica acerca da quantidade de gás carbónico reduzido para todas as intervenções, é possível afirmar que, dentre as que possuem informações, a que mais gerou redução foi o “Programa School Bus”.
- Destaca-se ainda que a partir dos vários relatórios elaborados durante o desenvolvimento do projeto BUILD pelos parceiros científicos em contato com os parceiros estratégicos do projeto (autarquia, empresas públicas, estabelecimentos de ensino e população residente e utilizadora da área BUILD), foi possível identificar melhorias que podem ser implementadas em cada uma das intervenções visando um resultado ainda melhor.

### **8.1. Avaliação de sucesso em projetos de transição para a sustentabilidade**

Conforme constatado pela UIA (Urban Innovative Actions, 2020), através dos diversos projetos de inovação urbana apoiados dentro da União Europeia, a monitorização e avaliação de projetos de inovação é diferente de projetos regulares. Isso porque, o processo de inovação tem uma dinâmica própria que inclui uma abertura maior a mudanças de percurso e inclusão de dados não esperados previamente, sendo também mais suscetíveis a falhas. Entretanto, a fase de experimentação, especialmente em processos de transição para sustentabilidade, é uma etapa necessária e de grande importância.

A necessidade de abordagens flexíveis, o uso eficiente dos dados existentes para avaliação, o envolvimento dos parceiros para avaliar os aspetos relevantes das intervenções, a capacidade de olhar os impactos numa perspetiva de longo prazo para gerar maior credibilidade aos resultados obtidos, e a medição a longo prazo são elementos que devem ser considerados no processo de avaliação.

De acordo com van den Heiligenberg et al. (2017), o sucesso das intervenções testadas nos processos de transição para modelos mais sustentáveis podem ser distinguidas em duas dimensões: o sucesso de curto prazo e o sucesso de longo prazo.

- Sucesso de curto prazo: quando o experimento ou a inovação atinge a meta de curto prazo;

- Sucesso de longo prazo: quando o experimento ou inovação contribui para o processo de transição a longo prazo, promovendo ganho de escala;

As duas dimensões estão interligadas, uma vez que o sucesso de curto prazo pode desencadear o sucesso de longo prazo, bem como uma inovação que não consegue atingir as metas de curto prazo, pode contribuir a longo prazo, através da melhoria das falhas identificadas.

Os dados disponíveis do projeto BUILD são relativos ao primeiro ano de intervenção. Portanto, a avaliação realizada com a metodologia multicritério estabelecida permite avaliar o sucesso de curto prazo da descarbonização.

O sucesso de longo prazo só será possível de avaliar daqui a alguns anos. No entanto, é de grande importância a continuidade na obtenção de dados do projeto e a realização dos ajustes necessários a cada intervenção, para que se atinja o próximo passo: ampliação das intervenções, ou o ganho de escala, na própria cidade.

Destaca-se ainda a importância de fomentar a troca de experiências entre o BUILD e outros projetos desenvolvidos por diferentes laboratórios vivos europeus. Essa troca de experiências permite não só partilhar aprendizados e dificuldades, mas também um ganho de escala territorial. Conforme afirma van den Heiligenberg et al. (2017) , três quartos dos experimentos em inovação para sustentabilidade fazem parte de uma trajetória de ganho de escala a nível territorial, podendo ela acontecer no mesmo lugar ou como uma replicação de experimentos em diferentes lugares da Europa.

Apesar dessa característica dificultar que tais benefícios sejam mensurados e até mesmo identificados localmente, e acabem por ser vistos erroneamente como insucessos, eles são cruciais para o processo de transição almejado em escala global.

## **8.2. Sugestão de estudos futuros para o Living Lab BUILD**

Como um legado do projeto BUILD, o Laboratório de Inovação Urbana – LIU foi inaugurado no final de 2019 e será responsável por gerir as informações dos sensores em fase de instalação na zona BUILD, bem como monitorizar as intervenções já implementadas, sendo mais um instrumento de apoio na transição para uma cidade mais sustentável, resiliente e neutra em carbono.

Considerando-se que um laboratório vivo para descarbonização tem como objetivo ser um ambiente aberto à experimentação de ações que visem a redução de CO<sub>2</sub>, sugere-se que, além dos ajustes já sugeridos no subcapítulo 7.2, sejam consideradas para as próximas fases do laboratório testes que envolvam:

### **Inovações voltadas à remoção de CO<sub>2</sub>**

Conforme abordado no item 2.5.2, as intervenções que permitem a captura de gás carbónico são importantes aliadas para se atingir as metas de descarbonização. Dessa forma, sugere-se que sejam consideradas inovações relacionadas a soluções de base natural (em inglês, Natural Based Solutions). Dentre elas podemos citar: telhados ou paredes verdes, análises do contributo das atuais áreas verdes existentes na zona BUILD para a descarbonização, e ainda a viabilidade de se criar um parque de pequena dimensão na zona BUILD ou envolvente com espécies autóctones, visando criar uma nova área de lazer, gerar benefícios como a redução de ilhas de calor e maior infiltração de água no solo, para além da descarbonização.

### **Implementação de inovações já previstas**

O plano inicial do projeto BUILD previa o desenvolvimento de uma aplicação de telemóvel que utilizasse técnicas de gamificação, bem como um portal de informação para comunicação com a população, os quais ainda se encontram em fase de desenvolvimento, mas que poderão ter um forte contributo na comunicação, sensibilização e participação das pessoas.

Já no que compete às investigações utilizando os dados do projeto BUILD, sugere-se que os resultados obtidos sejam comparados com as metas europeias de descarbonização. Adicionalmente, acredita-se que a metodologia de apoio à decisão possa ser aprimorada utilizando uma abordagem mais ampla que inclua a avaliação de interferências positivas e negativas entre intervenções, a qual não foi possível de realizar por falta de dados. E também inclua aspetos financeiros, como o custo de implementação e de manutenção das intervenções ao longo dos anos.

Cabe também avaliar as relações custo-benefício (financeiro, ambiental e social) de medidas similares, por exemplo o comparativo entre uma passadeira inteligente com sistema Omniflow e uma passadeira alimentada apenas com painel fotovoltaico, o que poderia resultar numa poupança de recursos.

Por fim, sugere-se a utilização dos dados gerados a partir da instalação e calibração dos sensores de contagem de veículos que estão a ser instalados na zona BUILD como novo indicador de avaliação, que poderá ser confrontado com os dados de qualidade do ar, e poderão auxiliar na avaliação do resultado a médio prazo das medidas de descarbonização implementadas na área de mobilidade.

## 9. Referências bibliográficas

- ADENE, & EPAL. (2017). Guia Aqua eXperience. Retrieved November 3, 2020, from <https://www.aquaexperience.pt/aqua-experience>
- Ahvenniemi, H., Huovila, A., Pinto-Seppä, I., & Airaksinen, M. (2017). What are the differences between sustainable and smart cities? *Cities*, *60*, 234–245. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.009>
- Alcalde, J., Flude, S., Wilkinson, M., Johnson, G., Edlmann, K., Bond, C. E., ... Stuart Haszeldine, R. (2018). Estimating geological CO<sub>2</sub> storage security to deliver on climate mitigation. *Nature Communications*, *9*(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04423-1>
- Ali-Toudert, F., & Ji, L. (2017). Modeling and measuring urban sustainability in multi-criteria based systems – A challenging issue. *Ecological Indicators*, *73*, 597–611. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.046>
- Almeida, M., & Ferreira, M. (2017). Cost effective energy and carbon emissions optimization in building renovation (Annex 56). *Energy and Buildings*, *152*, 718–738. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.050>
- Ambiente Magazine. (2018). Zero defende que o Gás Natural não é solução para descarbonizar os transportes em Portugal. Retrieved February 11, 2020, from Ambiente Magazine website: <https://www.ambientemagazine.com/zero-defende-que-o-gas-natural-nao-e-solucao-para-descarbonizar-os-transportes-em-portugal/>
- Amorim Cork Composites. (n.d.). O que é a cortiça | Porquê a Cortiça? Retrieved February 26, 2020, from <https://amorimcorkcomposites.com/pt/porquê-a-cortiça/o-que-é-a-cortiça/>
- Anderegg, W. R. L., Trugman, A. T., Badgley, G., Anderson, C. M., Bartuska, A., Ciais, P., ... Randerson, J. T. (2020). Climate-driven risks to the climate mitigation potential of forests. *Science*, *368*(6497), eaaz7005. <https://doi.org/10.1126/science.aaz7005>
- Associação Nacional das Empresas de Transportes. (2019). Transportes sob Demanda: nova tendência? *Revista NTUrbano - Ed 41*. Retrieved from <http://www.ntu.org.br/novo/NoticiaCompleta.aspx?idArea=10&idNoticia=1265#>
- Bastin, J. F., Finegold, Y., Garcia, C., Mollicone, D., Rezende, M., Routh, D., ... Crowther, T. W. (2019). The global tree restoration potential. *Science*, *365*(6448), 76–79. <https://doi.org/10.1126/science.aax0848>
- Batjes, N. H., & Sombroek, W. G. (1997). Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. *Global Change Biology*, *3*(2), 161–173. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.1997.00062.x>
- Bragança, L., & Mateus, R. (2019). Métodos de apoio à decisão para desenvolvimento de edificações mais sustentáveis. In Editora UFJF (Ed.), *Ambiente Construído e Estratégias Sustentáveis* (pp. 118–150). Retrieved from file:///C:/Users/User/Downloads/fvm939e.pdf
- Câmara Municipal de Braga. (2017). *Plano de Implementação do Braga Urban Innovation Laboratory*

- Demonstrator (BUILD)*. Braga, Portugal.
- Carbon Engineering Ltd. (n.d.). Direct Air Capture Technology. Retrieved June 22, 2020, from <https://carbonengineering.com/our-technology/>
- Cavada, M., & Rogers, C. D. F. (2019). Serious gaming as a means of facilitating truly smart cities: a narrative review. *Behaviour & Information Technology*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2019.1677775>
- Chen, W. Y. (2015). The role of urban green infrastructure in offsetting carbon emissions in 35 major Chinese cities: A nationwide estimate. *Cities*, 44, 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.01.005>
- CONCERTO - European Commission. (n.d.). Reducing CO2. Retrieved February 21, 2020, from <https://www.concertoplus.eu/reducing-co2/>
- Conrad, C. C., & Hilchey, K. G. (2011). A review of citizen science and community-based environmental monitoring: issues and opportunities. *Environmental Monitoring and Assessment*, 176, 273–291. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1582-5>
- Cortés, C. M. (ENOLL), & Hassan, C. (KWMC). (2019). *The Living Lab Guidebook for cities fighting against air pollution by European Network of Living Labs - ISCAPE Project*. Retrieved from [https://issuu.com/enoll/docs/iscape\\_guidebook\\_digital](https://issuu.com/enoll/docs/iscape_guidebook_digital)
- DG Território. (2015). Cidades Sustentáveis 2020. In D.-G. do Território (Ed.), *European Planning Studies*. Retrieved from [http://www.dgterritorio.pt/ordenamento\\_e\\_cidades/cidades/cidades\\_sustentaveis\\_2020/](http://www.dgterritorio.pt/ordenamento_e_cidades/cidades/cidades_sustentaveis_2020/)
- Diez, J. M., Lopez-Lambas, M. E., Gonzalo, H., Rojo, M., & Garcia-Martinez, A. (2018). Methodology for assessing the cost effectiveness of Sustainable Urban Mobility Plans (SUMP). The case of the city of Burgos. *Journal of Transport Geography*, 68, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.02.006>
- Djuretic, A., & Kostic, M. (2018). Actual energy savings when replacing high-pressure sodium with LED luminaires in street lighting. *Energy*, 157, 367–378. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.179>
- Dodgson, J., Spackman, M., Pearman, A. D., & Phillips, L. D. (2009). *Multi-criteria analysis: a manual*. Retrieved from [www.communities.gov.uk/community,opportunity,prosperity](http://www.communities.gov.uk/community,opportunity,prosperity)
- Eastman, J. R., Jiang, H., & Toledano, J. (1998). Multi-criteria and multi-objective decision making for land allocation using GIS. In E. Beinat & P. Nijkamp (Eds.), *Multicriteria Analysis for Land-Use Management* (pp. 227–251). [https://doi.org/10.1007/978-94-015-9058-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-94-015-9058-7_13)
- ECOSOC. (2019). Special edition: progress towards the Sustainable Development Goals. In *Report of the Secretary-General of Economic And Social Council of United Nations*. Retrieved from <https://undocs.org/E/2019/68>
- EDP Distribuição / ISR-UC. (2016). *Manual de Iluminação Pública - Revisão*. Retrieved from [https://www.edpdistribuicao.pt/sites/edd/files/2019-04/Manual Iluminacao Publica.pdf](https://www.edpdistribuicao.pt/sites/edd/files/2019-04/Manual%20Iluminacao%20Publica.pdf)
- European Commission. (2007, September 25). Green Paper - Towards a New Culture for Urban Mobility.

- Directorate- General for Energy and Transport*, pp. 1–6.
- European Commission. (2015). *12. Climate action, environment, resource efficiency and raw materials*.
- Evans, J., & Karvonen, A. (2014). "Give Me a Laboratory and I Will Lower Your Carbon Footprint!" - Urban Laboratories and the Governance of Low-Carbon Futures. *International Journal of Urban and Regional Research*, *38*(2), 413–430. <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12077>
- Evans, P., Schuurman, D., Ståhlbröst, A., & Vervoort, K. (2017). *Living Lab Methodology Handbook* (K. Malmberg & I. Vaattinen, Eds.). Retrieved from [https://u4iot.eu/pdf/U4IoT\\_LivingLabMethodology\\_Handbook.pdf](https://u4iot.eu/pdf/U4IoT_LivingLabMethodology_Handbook.pdf)
- Folha de São Paulo. (2019, June 29). Ônibus por demanda eleva a eficiência do transporte público convencional. *Folha de São Paulo*. Retrieved from <https://www1.folha.uol.com.br/seminariosfolha/2019/06/onibus-por-demanda-eleva-a-eficiencia-do-transporte-publico-convencional.shtml>
- Fundo Ambiental. (2018). Laboratório Vivo para a Descarbonização. Retrieved November 4, 2019, from Ministério do Ambiente de Portugal website: <https://www.fundoambiental.pt/avisos-2018/descarbonizacao/laboratorio-vivo-para-a-descarbonizacao.aspx>
- Global CCS Institute. (2019). *Global Status of CCS 2019 - Targeting Climate Change*. Melbourne, Australia.
- Gomez Echeverri, L. (2018, February 1). Investing for rapid decarbonization in cities. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Vol. 30, pp. 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.02.010>
- Grise, M. M., Biondi, D., & Araki, H. (2016). A floresta urbana da cidade de Curitiba, PR. *Floresta*, *46*(4), 425–437. <https://doi.org/10.5380/rf.v46i3.42212>
- Hermoso-Orzáez, M. J., Lozano-Miralles, J. A., Lopez-Garcia, R., & Brito, P. (2019). Environmental criteria for assessing the competitiveness of public tenders with the replacement of large-scale LEDs in the outdoor lighting of cities as a key element for sustainable development: Case study applied with PROMETHEE methodology. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(21). <https://doi.org/10.3390/su11215982>
- Hossain, M., Leminen, S., & Westerlund, M. (2019). A systematic review of living lab literature. *Journal of Cleaner Production*, *213*, 976–988. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.257>
- IEEE Smart Cities. (n.d.). Questions and Answers - IEEE Smart Cities Chair - IEEE Smart Cities. Retrieved January 21, 2020, from <https://smartcities.ieee.org/announcements/questions-pat-graves>
- IPCC. (2013). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (V. B. and P. M. M. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, Ed.). <https://doi.org/10.1260/095830507781076194>
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the 5th Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Retrieved from [www.cambridge.org](http://www.cambridge.org)

- IPCC. (2018). Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to (P. R. S. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, M. I. G. A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, & and T. W. E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, Eds.). Retrieved November 2, 2019, from <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>
- Jannuzzi, P. M., Miranda, W. L., & Silva, D. G. (2009). Análise Multicritério e Tomada de Decisão em Políticas Públicas: Aspectos Metodológicos, Aplicativo Operacional e Aplicações. In *Artigo Informática Pública ano* (Vol. 11, pp. 69–87). Retrieved from [http://www.ip.pbh.gov.br/ANO11\\_N1\\_PDF/analise\\_multicriterio\\_e\\_tomada\\_de\\_decisao\\_em\\_Politicass\\_Publicas.pdf](http://www.ip.pbh.gov.br/ANO11_N1_PDF/analise_multicriterio_e_tomada_de_decisao_em_Politicass_Publicas.pdf)
- Jiang, Q., Kresin, F., Bregt, A. K., Kooistra, L., Pareschi, E., Van Putten, E., ... Wesseling, J. (2016). *Citizen Sensing for Improved Urban Environmental Monitoring*. <https://doi.org/10.1155/2016/5656245>
- Leminen, S., Niitamo, V.-P., & Westerlund, M. (2017). A Brief History of Living Labs: From Scattered Initiatives to Global Movement. *Open Living Lab Days 2017*, 42–58. Retrieved from <https://biblio.ugent.be/publication/8534167/file/8534169.pdf#page=42>
- Lewis, T. (2017). Living Labs: An Intersection of Scientific Innovation. Retrieved January 3, 2020, from Woodrow Wilson Center for International Scholars - Ctrl Foward Blog website: <https://www.wilsoncenter.org/blog-post/living-labs-intersection-scientific-innovation>
- Løken, E. (2007). Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(7), 1584–1595. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.11.005>
- Lopez-Ruiz, H. G., Christidis, P., Demirel, H., & Kompil, M. (2013). Quantifying the Effects of Sustainable Urban Mobility Plans. In *JRC Technical Report, EUR 26123EN*. <https://doi.org/10.2791/21875>
- Machado, A. P. V. (2018). *Relatório WP6 - Edificado - Entregável 6.1 – 1ª Fase*. Braga, Portugal.
- Machado, A. P. V. (2019a). *Avaliação do Desempenho Termo-energético da Escola Básica do 1º Ciclo com Jardim de Infância de Enguardas - Relatório WP6 - Braga Urban Innovation Laboratory*. Braga, Portugal.
- Machado, A. P. V. (2019b). *Avaliação do Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais - Relatório WP6 - Braga Urban Innovation Laboratory*. Braga, Portugal.
- Martins, P. M. P. (2012). *Eficiência Energética em Edifícios de Serviços*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Mendes, J. F. G. (2000). Decision Strategy Spectrum for the Evaluation of Quality of Life in Cities. In F. T. Seik, L. L. Yuan, & G. W. K. Mil (Eds.), *Planning for a Better Quality of Life in Cities* (pp. 35–53). Singapore: School of Build and Real Estate, NUS.
- Ministério do Ambiente. (n.d.). Portal Eco.nomia. Retrieved February 19, 2021, from <https://eco.nomia.pt/pt/economia-circular/estrategias>

- Monteiro, T. P. da S., & Ramos, J. A. E. (2007). *Medidas correctivas para vãos envidraçados num edifício existente com vista à melhoria da sua eficiência energética*. Retrieved from <https://docplayer.com.br/10979165-Instituto-de-engenharia-de-sistemas-e-computadores-de-coimbra.html>
- Moran, D., Kanemoto, K., Jiborn, M., Wood, R., Többen, J., & Seto, K. C. (2018). Carbon footprints of 13 000 cities. *Environmental Research Letters*, 13(6). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac72a>
- Navarro, A. C. L. (2018). *Desafios do transporte urbano para as grandes cidades : as zonas de baixa emissão*. Universidade Estadual de Campinas.
- ONU. (2002). Declaração de Joanesburgo sobre Desenvolvimento Sustentável. *Apa*, 1–6. Retrieved from [http://www.apambiente.pt/\\_zdata/Politicas/DesenvolvimentoSustentavel/2002\\_Declaracao\\_Joanesburgo.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/Politicas/DesenvolvimentoSustentavel/2002_Declaracao_Joanesburgo.pdf)
- ONU. (2015). Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development - A/RES/70/1. *United Nations*. Retrieved from [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030\\_Agenda\\_for\\_Sustainable\\_Development\\_web.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030_Agenda_for_Sustainable_Development_web.pdf)
- Pedrola, J., Saz-Carranza, A., & Friedmann, J. (2020). *Tecnologies of the energy transition: Direct Air Capture of CO2*. Retrieved from [https://www.youtube.com/watch?v=K2OSF1zydbg&fbclid=IwAR0-WSASzHhJYUvNL30kKvpTMCLPAF6RI4\\_MXh4XS5CD-5o9xzXey4N79JM](https://www.youtube.com/watch?v=K2OSF1zydbg&fbclid=IwAR0-WSASzHhJYUvNL30kKvpTMCLPAF6RI4_MXh4XS5CD-5o9xzXey4N79JM)
- Ramos, R. A. R. (2000). *Localização Industrial - Um Modelo Espacial Para o Noroeste De Portugal*. UNIVERSIDADE DO MINHO.
- Ramos, R. A. R., & Mendes, J. F. G. (2001). Avaliação da aptidão do solo para localização industrial: o caso de Valença. *Revista Engenharia Civil (REC)*, (10), 7–29. Retrieved from <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/2511>
- Rede Globo. (2015). *Em Curitiba (PR), residências se transformam em reservas particulares*. Retrieved from <http://redeglobo.globo.com/como-sera/expedicoes-urbanas/noticia/2015/07/em-curitiba-pr-residencias-se-transformam-em-reservas-particulares.html>
- Ribeiro, R., Araújo, E., & Silva, M. (2019a). *Relatório de acompanhamento e avaliação da iniciativa School Bus - Relatório WP2 - Braga Urban Innovation Laboratory Demonstrator*. Braga, Portugal.
- Ribeiro, R., Araújo, E., & Silva, M. (2019b). *Relatório sobre Usos e Desusos da Passadeira - Relatório WP2 - Braga Urban Innovation Laboratory Demonstrator*. Braga, Portugal.
- Rupprecht Consult - Forschung & Beratung GmbH (Ed.). (2019). *Guidelines for Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan ( Second Edition )* (Second Edi). Retrieved from [https://www.eltis.org/sites/default/files/guidelines\\_for\\_developing\\_and\\_implementing\\_a\\_sustainable\\_urban\\_mobility\\_plan\\_2nd\\_edition.pdf](https://www.eltis.org/sites/default/files/guidelines_for_developing_and_implementing_a_sustainable_urban_mobility_plan_2nd_edition.pdf)
- Sá, J. F. F. De. (2013). *Espaços verdes em meio urbano: uma abordagem metodológica com base em serviços de ecossistema*. 1–105.

- Sandalow, D., Friedmann, J., McCormick, C., & McCoy, S. (2018). Direct Air Capture - ICEF Roadmap 2018. In *Direct Air Capture of Carbon Dioxide - ICEF Roadmap 2018*.
- Siemens Mobility. (n.d.). *SiWalk - Smart Lighting Crosswalk with Automatic Pedestrian Detection*.
- Silva, L. T. (2007). Avaliação da qualidade ambiental urbana (Universidade do Minho). Retrieved from <http://hdl.handle.net/1822/7515>
- Silva, L. T. (2015). Environmental quality health index for cities. *Habitat International*, 45(P1), 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.06.020>
- Silva, L. T., & Paiva, F. (2019a). *Assessoria técnica no âmbito da avaliação dos impactos decorrentes das ações implementadas na área de intervenção - Relatório WP2 - Braga Urban Innovation Laboratory Demonstrator*. Braga, Portugal.
- Silva, L. T., & Paiva, F. (2019b). *Metodologias de cálculo para as medidas implementadas na área de intervenção - Relatório WP2 - Braga Urban Innovation Laboratory Demonstrator*. Braga, Portugal.
- Smart Crosswalk™ In-Roadway Warning Light (IRWL) System. (n.d.). Retrieved February 19, 2020, from <https://www.lightguardsystems.com/smart-crosswalk-in-roadway-warning-light-irwl-system/>
- Souza, P. A. A. (2019). *People-centered Urban Measures towards Sustainable Mobility*. Universidade do Minho, Braga, Portugal.
- Spampinato, G., Massimo, D. E., Musarella, C. M., De Paola, P., Malerba, A., & Musolino, M. (2019). Carbon Sequestration by Cork Oak Forests and Raw Material to Built up Post Carbon City. In *Smart Innovation, Systems and Technologies* (Vol. 101, pp. 663–671). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92102-0\\_72](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92102-0_72)
- Street and Public Lighting | Energy Rating. (n.d.). Retrieved February 19, 2020, from <https://www.energyrating.gov.au/products/street-and-public-lighting>
- Strohbach, M. W., Arnold, E., & Haase, D. (2012). The carbon footprint of urban green space-A life cycle approach. *Landscape and Urban Planning*, 104(2), 220–229. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.10.013>
- Teixeira, R. M. M. (2015). *Uso Sustentável da Água: Avaliação de Benefícios adotando Eficiência Hídrica em Edifícios*. Universidade de Coimbra.
- Torres, F. M. da S. (2015). *Implementação de um sistema de previsão e controlo para operação otimizada de um sistema de recolha e armazenamento de água pluvial* (Universidade do Minho). Retrieved from <http://hdl.handle.net/1822/40686>
- UITP. (2015). *Light Rail in Figures*. Retrieved from [http://www.uitp.org/sites/default/files/cck-focus-papers-files/UITP\\_Statistic\\_Brief\\_4p-Light rail-Web.pdf](http://www.uitp.org/sites/default/files/cck-focus-papers-files/UITP_Statistic_Brief_4p-Light rail-Web.pdf)
- UITP América Latina. (2015). *Veículo Leve sob Trilhos - Descobrimos os benefícios do VLT*. Retrieved from [https://latinamerica.uitp.org/sites/default/files/VLT UITP\\_Benefícios\\_POR\\_1.pdf](https://latinamerica.uitp.org/sites/default/files/VLT UITP_Benefícios_POR_1.pdf)
- Urban Innovative Actions. (2020). How monitoring and evaluation can support innovative interventions. Retrieved August 21, 2020, from <https://www.uia-initiative.eu/en/news/how-monitoring-and-evaluation->

can-support-innovative-interventions

- Vaititinen, I. (ENoLL). (n.d.). Guideline for developing and implementing Living Lab for climate services in urban planning for adaptation and mitigation. Retrieved February 7, 2020, from eu-macs.eu website: <http://eu-macs.eu/outputs/livinglabs/>
- van den Heiligenberg, H. A. R. M., Heimeriks, G. J., Hekkert, M. P., & van Oort, F. G. (2017). A habitat for sustainability experiments: Success factors for innovations in their local and regional contexts. *Journal of Cleaner Production*, *169*, 204–215. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.177>
- Viana, I. C., & Teixeira, C. (2019). *Conexão + Cidadania - Relatório WP4 - Braga urban Innovation Laboratory Demonstrator*. Braga, Portugal.
- Voogd, H. (1982). Multicriteria Evaluation for Urban and Regional planning. In *Delft: Delftsche Uitgevers Maatschappij*. <https://doi.org/10.6100/IR102252>
- Voytenko, Y., McCormick, K., Evans, J., & Schliwa, G. (2016). Urban living labs for sustainability and low carbon cities in Europe: Towards a research agenda. *Journal of Cleaner Production*, *123*, 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.053>
- WCED. (1987). Our Common Future. *Oxford Press University*. Retrieved from <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- Yager, R. R. (1988). On Ordered Weighted Averaging Aggregation Operators in Multicriteria Decisionmaking. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, *18*(1), 183–190. <https://doi.org/10.1109/21.87068>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, *8*(3), 338–353.

## ANEXO I

### Cenário 1:

Neste cenário de avaliação todos os indicadores possuem peso igual a 1. O score de cada setor é obtido a partir da soma dos seus indicadores e posterior normalização, utilizando-se a Equação 3-1. A nota de avaliação do BUILD é obtida utilizando-se o mesmo raciocínio.

Tabela 28 - Cenário 1

Setor	Indicador	Avaliação Indicador	Peso Indicador	Score Indicador	Score Setor	Avaliação Setor <sup>1</sup>
Mobilidade	Medidas Complementares	4	1	4	10,0	<b>3,3</b>
	School Bus	3	1	3		
	Pessoas Mob.	3	1	3		
Vias Públicas	Passadeira Inteligente	3	1	3	9,0	<b>3,0</b>
	Iluminação Pública Eficiente	5	1	5		
	Pessoas VP	1	1	1		
Edificado	Eficiência energética	2	1	2	8,0	<b>2,7</b>
	Eficiência hídrica	5	1	5		
	Pessoas Edif.	1	1	1		
<b>Projeto BUILD</b>					<b>27,0</b>	<b>3,0</b>

<sup>1</sup> Para normalização: Rmin = 0; Rmax (setor) = 15; Rmax (BUILD) = 45.

Cenário 2:

Neste cenário considerou-se que as intervenções voltadas às pessoas têm peso igual a 0. As demais intervenções mantêm peso igual, assim como os setores. O score de cada setor é obtido a partir da soma dos seus indicadores e posterior normalização, utilizando-se a Equação 3-1. A nota de avaliação do BUILD é obtida utilizando-se o mesmo raciocínio.

Tabela 29 - Cenário 2

<b>Setor</b>	<b>Indicador</b>	<b>Avaliação Indicador</b>	<b>Peso Indicador</b>	<b>Score Indicador</b>	<b>Score Setor</b>	<b>Avaliação Setor<sup>2</sup></b>
Mobilidade	Medidas Complementares	4	5	20	35,0	<b>3,5</b>
	School Bus	3	5	15		
	Pessoas Mob.	3	0	0		
Vias Públicas	Passadeira Inteligente	3	5	15	40,0	<b>4,0</b>
	Iluminação Pública Eficiente	5	5	25		
	Pessoas VP	1	0	0		
Edificado	Eficiência energética	2	5	10	35,0	<b>3,5</b>
	Eficiência hídrica	5	5	25		
	Pessoas Edif.	1	0	0		
<b>Projeto BUILD</b>					<b>110,0</b>	<b>3,7</b>

<sup>2</sup> Para normalização:  $R_{min} = 0$ ;  $R_{max}(\text{setor}) = 50$ ;  $R_{max}(\text{BUILD}) = 150$ .

Cenário 3:

Neste cenário de avaliação todos os indicadores possuem peso igual a 1 e o setor de Mobilidade é considerado o mais relevante na descarbonização do projeto, recebendo, por isso, a ponderação de 70%. O score de cada setor é obtido a partir da soma dos seus indicadores e posterior normalização, utilizando-se a Equação 3-1. A nota de avaliação do BUILD é obtida com a soma dos resultados da ponderação.

Tabela 30 - Cenário 3

Setor	Indicador	Avaliação Indicador	Peso Indicador	Score Indicador	Score Setor	Avaliação Setor <sup>3</sup>	Peso Setor	Resultado BUILD
Mobilidade	Medidas Complementares	4	1	4	10,0	<b>3,3</b>	70%	2,3
	School Bus	3	1	3				
	Pessoas Mob.	3	1	3				
Vias Públicas	Passadeira Inteligente	3	1	3	9,0	<b>3,0</b>	15%	0,5
	Iluminação Pública Eficiente	5	1	5				
	Pessoas VP	1	1	1				
Edificado	Eficiência energética	2	1	2	8,0	<b>2,7</b>	15%	0,4
	Eficiência hídrica	5	1	5				
	Pessoas Edif.	1	1	1				
				<b>BUILD</b>	27,0			<b>3,2</b>

<sup>3</sup> Para normalização: Rmin = 0; Rmax (setor) = 15; Rmax (BUILD) = 45.

Cenário 4

Neste cenário de avaliação todos os indicadores possuem peso igual a 1 e o setor de Vias Públicas é considerado o mais relevante na descarbonização do projeto, recebendo, por isso, a ponderação de 70%. O score de cada setor é obtido a partir da soma dos seus indicadores e posterior normalização, utilizando-se a Equação 3-1. A nota de avaliação do BUILD é obtida com a soma dos resultados da ponderação.

Tabela 31 - Cenário 4

Setor	Indicador	Avaliação Indicador	Peso Indicador	Score Indicador	Score Setor	Avaliação Setor <sup>4</sup>	Peso Setor	Resultado BUILD
Mobilidade	Medidas Complementares	4	1	4	10,0	<b>3,3</b>	15%	0,5
	School Bus	3	1	3				
	Pessoas Mob.	3	1	3				
Vias Públicas	Passadeira Inteligente	3	1	3	9,0	<b>3,0</b>	70%	2,1
	Iluminação Pública Eficiente	5	1	5				
	Pessoas VP	1	1	1				
Edificado	Eficiência energética	2	1	2	8,0	<b>2,7</b>	15%	0,4
	Eficiência hídrica	5	1	5				
	Pessoas Edif.	1	1	1				
				<b>BUILD</b>	27,0			<b>3,0</b>

<sup>4</sup> Para normalização: Rmin = 0; Rmax (setor) = 15; Rmax (BUILD) = 45.

Cenário 5

Neste cenário de avaliação todos os indicadores possuem peso igual a 1 e o setor de Edificado é considerado o mais relevante na descarbonização do projeto, recebendo, por isso, a ponderação de 70%. O score de cada setor é obtido a partir da soma dos seus indicadores e posterior normalização, utilizando-se a Equação 3-1. A nota de avaliação do BUILD é obtida com a soma dos resultados da ponderação.

Tabela 32 - Cenário 5

Setor	Indicador	Avaliação Indicador	Peso Indicador	Score Indicador	Score Setor	Avaliação Setor <sup>5</sup>	Peso Setor	Resultado BUILD
Mobilidade	Medidas Complementares	4	1	4	10,0	<b>3,3</b>	15%	0,50
	School Bus	3	1	3				
	Pessoas Mob.	3	1	3				
Vias Públicas	Passadeira Inteligente	3	1	3	9,0	<b>3,0</b>	15%	0,45
	Iluminação Pública Eficiente	5	1	5				
	Pessoas VP	1	1	1				
Edificado	Eficiência energética	2	1	2	8,0	<b>2,7</b>	70%	1,87
	Eficiência hídrica	5	1	5				
	Pessoas Edif.	1	1	1				
				<b>BUILD</b>	27,0			<b>2,8</b>

<sup>5</sup> Para normalização: Rmin = 0; Rmax (setor) = 15; Rmax (BUILD) = 45.

Cenário 6:

Neste cenário considerou-se que as intervenções voltadas às pessoas têm peso igual a 0 e o setor de Mobilidade é considerado o mais relevante na descarbonização do projeto, recebendo, por isso, a ponderação de 70%. O score de cada setor é obtido a partir da soma dos seus indicadores e posterior normalização, utilizando-se a Equação 3-1. A nota de avaliação do BUILD é obtida com a soma dos resultados da ponderação.

Tabela 33 - Cenário 6

Setor	Indicador	Avaliação Indicador	Peso Indicador	Score Indicador	Score Setor	Avaliação Setor <sup>6</sup>	Peso Setor	Resultado BUILD
Mobilidade	Medidas Complementares	4	5	20	35,0	<b>3,5</b>	70%	2,45
	School Bus	3	5	15				
	Pessoas Mob.	3	0	0				
Vias Públicas	Passadeira Inteligente	3	5	15	40,0	<b>4,0</b>	15%	0,60
	Iluminação Pública Eficiente	5	5	25				
	Pessoas VP	1	0	0				
Edificado	Eficiência energética	2	5	10	35,0	<b>3,5</b>	15%	0,53
	Eficiência hídrica	5	5	25				
	Pessoas Edif.	1	0	0				
				<b>BUILD</b>	110			<b>3,6</b>

<sup>6</sup> Para normalização: Rmin = 0; Rmax (setor) = 50; Rmax (BUILD) = 150.

Cenário 7:

Neste cenário considerou-se que as intervenções voltadas às pessoas têm peso igual a 0 e o setor de Vias Públicas é considerado o mais relevante na descarbonização do projeto, recebendo, por isso, a ponderação de 70%. O score de cada setor é obtido a partir da soma dos seus indicadores e posterior normalização, utilizando-se a Equação 3-1. A nota de avaliação do BUILD é obtida com a soma dos resultados da ponderação.

Tabela 34 - Cenário 7

Setor	Indicador	Avaliação Indicador	Peso Indicador	Score Indicador	Score Setor	Avaliação Setor <sup>7</sup>	Peso Setor	Resultado BUILD
Mobilidade	Medidas Complementares	4	5	20	35,0	<b>3,5</b>	15%	0,53
	School Bus	3	5	15				
	Pessoas Mob.	3	0	0				
Vias Públicas	Passadeira Inteligente	3	5	15	40,0	<b>4,0</b>	70%	2,80
	Iluminação Pública Eficiente	5	5	25				
	Pessoas VP	1	0	0				
Edificado	Eficiência energética	2	5	10	35,0	<b>3,5</b>	15%	0,53
	Eficiência hídrica	5	5	25				
	Pessoas Edif.	1	0	0				
				<b>BUILD</b>	110			<b>3,9</b>

<sup>7</sup> Para normalização: Rmin = 0; Rmax (setor) = 50; Rmax (BUILD) = 150.

Cenário 8:

Neste cenário considerou-se que as intervenções voltadas às pessoas têm peso igual a 0 e o setor de Edificado é considerado o mais relevante na descarbonização do projeto, recebendo, por isso, a ponderação de 70%. O score de cada setor é obtido a partir da soma dos seus indicadores e posterior normalização, utilizando-se a Equação 3-1. A nota de avaliação do BUILD é obtida com a soma dos resultados da ponderação.

Tabela 35 - Cenário 8

Setor	Indicador	Avaliação Indicador	Peso Indicador	Score Indicador	Score Setor	Avaliação Setor <sup>8</sup>	Peso Setor	Resultado BUILD
Mobilidade	Medidas Complementares	4	5	20	35,0	<b>3,5</b>	15%	0,53
	School Bus	3	5	15				
	Pessoas Mob.	3	0	0				
Vias Públicas	Passadeira Inteligente	3	5	15	40,0	<b>4,0</b>	15%	0,60
	Iluminação Pública Eficiente	5	5	25				
	Pessoas VP	1	0	0				
Edificado	Eficiência energética	2	5	10	35,0	<b>3,5</b>	70%	2,45
	Eficiência hídrica	5	5	25				
	Pessoas Edif.	1	0	0				
				<b>BUILD</b>	110			<b>3,6</b>

<sup>8</sup> Para normalização: Rmin = 0; Rmax (setor) = 50; Rmax (BUILD) = 150.